

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**PROPUESTA METODOLÓGICA DE INDICADORES DE
EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
ORIENTADOS AL SECTOR RURAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

JAVIER ANDRÉS GARCÍA TOSCANO

javigarciamh@hotmail.com

DIRECTORA: Ph.D. CRISTINA ALEJANDRA VILLAMAR AYALA

cristina.villamar@epn.edu.ec

Quito, enero 2018

DECLARACIÓN

Yo, Javier Andrés García Toscano, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

JAVIER ANDRÉS GARCÍA TOSCANO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Javier Andrés García Toscano, bajo mi supervisión.

DRA. CRISTINA VILLAMAR
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por llenarme de bendiciones, por darme la salud, paciencia y sobre todo la fuerza necesaria para seguir adelante en mi camino y alcanzar mis metas y objetivos trazados.

A mi madre Liliana, por su paciencia y amor infinito, por ser mi guía y fortaleza en todos los momentos de mi vida, por siempre estar pendiente a cada necesidad y ayudarme a cumplir este gran sueño, por enseñarme el significado del esfuerzo y perseverancia, tu apoyo fue indispensable para culminar esta meta.

A mi padre Alfonso por ser mi ejemplo de vida, gracias por siempre darme esa palabra de aliento y brindarme tu apoyo para cumplir este sueño de ser un profesional, además de inculcarme los verdaderos valores de la honestidad, honradez, constancia y trabajo duro y por hacer de mi un hombre de bien.

A mi hermano Stalin, por ser mi compañero, amigo de aventuras y juegos, gracias por colaborar en este largo proceso y apoyarme en lo requería, sabes que cuentas con mi apoyo incondicional.

A toda mi familia, por sus buenos consejos de vida, apoyo incondicional y formar parte en mi desarrollo personal y profesional.

Mi gratitud especial a la Dra. Alejandra Villamar por todo el conocimiento compartido, ayuda para la realización de este proyecto y por su buena predisposición a solventar cualquier inquietud.

A la EPMAPS en especial a los Ing. Esteban Espinoza e Ing. Henry Vaca por su excelente colaboración en proporcionarme los datos y la información necesaria para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Escuela Politécnica Nacional por ser la institución que me formó para ser un excelente profesional.

DEDICATORIA

A Dios, porque sus planes son perfectos y sin el esto me hubiera sido posible

A mis padres y hermano, por su apoyo incondicional en la finalización de mis estudios universitarios, ya que este triunfo también es de ellos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVIII
PRESENTACIÓN.....	XX
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XXI
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 ALCANCE	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES RURALES.....	6
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	6
2.1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	10
2.1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR RURAL DEL DMQ.....	14

2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS PTARS DE LOS SECTORES RURALES DEL DMQ.....	15
2.2.1	TRATAMIENTO PRELIMINAR PARA POBLACIONES RURALES DEL DMQ.....	16
2.2.2	TRATAMIENTO PRIMARIO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES RURALES DEL DMQ.....	17
2.2.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES RURALES DEL DMQ.....	18
2.2.4	TRATAMIENTO Terciario para Pequeñas Poblaciones Rurales del DMQ.....	23
2.3	ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN COMPARATIVA DE FUNCIONAMIENTO DE PTARS.....	24
2.3.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO.....	24
2.3.2	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	24
2.4	INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD.....	28
2.4.1	DEFINICIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE.....	28
2.4.2	DEFINICIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD.....	28
2.4.3	INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD APLICABLES A PTARS.....	29
	CAPÍTULO 3.....	32
	METODOLOGÍA.....	32
3.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	32
3.1.1	PARROQUIA DE PACTO.....	32
3.1.2	PARROQUIA DE GUALEA.....	35
3.1.3	PARROQUIA DE PUÉLLARO.....	37
3.1.4	PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE MINAS.....	39
3.1.5	PARROQUIA DE NONO.....	41
3.1.6	PARROQUIA DE PINTAG.....	43
3.2	RECOPIACIÓN Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN DE LAS PTARS.....	45
3.2.1	INFORMACIÓN FÍSICA.....	46

3.2.2	MANEJO DE LA INFORMACIÓN	46
3.2.3	INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES	47
3.2.4	ESCENARIOS DE TRATAMIENTO DE LAS PTARS	48
3.3	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR DE LAS PTARS.....	50
3.3.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO	50
3.3.2	ANÁLISIS DE VARIANZA	50
3.4	METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	51
3.4.1	INDICADORES AMBIENTALES	52
3.4.2	INDICADORES ECONÓMICOS	54
3.4.3	INDICADORES SOCIALES	56
3.4.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	56
	CAPÍTULO 4	58
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO COMPARANDO EL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL DE LAS PTARS ESTUDIADAS.....	58
4.1.1	ESCENARIO I.....	58
4.1.2	ESCENARIO II.....	63
4.1.3	ESCENARIO III.....	68
4.1.4	ESCENARIO IV.....	72
4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPARATIVO RELACIONADO CON EL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL ENTRE ESCENARIOS DE TRATAMIENTO.....	86
4.3	INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	87
4.3.1	ANÁLISIS DE LOS INDICADORES AMBIENTALES	87
4.3.2	ANÁLISIS DE LOS INDICADORES ECONÓMICOS	92
4.3.3	ANÁLISIS DE LOS INDICADORES SOCIALES	97
4.3.4	DISCUSIÓN	99
	CAPÍTULO 5	103

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1 CONCLUSIONES	103
5.2 RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	116
ANEXO N° 1	117
ANEXO N° 2	132
ANEXO N° 3	135
ANEXO N° 4	137

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	7
TABLA 2.2 CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	9
TABLA 2.3 CONCENTRACIONES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y RURALES	9
TABLA 2.4 EFICIENCIAS PROMEDIOS (%) DE DEPURACIÓN DE VARIOS PARÁMETROS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL TRATAMIENTO.....	11
TABLA 2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PTARS DE LAS ZONAS RURALES DEL DMQ	16
TABLA 2.6 VOLUMEN Y ÁREA SUPERFICIAL DE LAS FOSAS SÉPTICAS.....	17
TABLA 2.7 VOLUMEN Y ÁREA SUPERFICIAL DE TANQUES IMHOFF	18
TABLA 2.8 VOLUMEN DE LA CÁMARA DE LOS FILTROS ANAEROBIOS.....	19
TABLA 2.9 VOLUMEN Y POTENCIA INSTALADA DE LAS PTARS CON LODOS ACTIVADOS	20
TABLA 2.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS.....	23
TABLA 3.1 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA PACTO, 2016	33
TABLA 3.2 INFORMACION DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA GUALEA, 2016.....	35
TABLA 3.3 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA PUÉLLARO, 2016	37
TABLA 3.4 INFORMACIÓN DE LA PTAR DE LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE MINAS, 2016.....	39
TABLA 3.5 INFORMACIÓN DE LA PTAR DE LA PARROQUIA DE NONO, 2016	41

TABLA 3.6 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PINTAG, 2016	43
TABLA 3.7 POBLACIÓN FUTURA DE BARRIOS RURALES DEL DMQ, 2016	47
TABLA 3.8 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES	48
TABLA 3.9 CLASIFICACIÓN DE LAS PTARS POR ESCENARIOS DE TRATAMIENTO.....	49
TABLA 3.10 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES Y VARIABLES DEL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL.....	51
TABLA 3.11 INFORMACIÓN GENERAL DE LAS PTARS.....	52
TABLA 3.12 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES Y VARIABLES PARA LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	57
TABLA 4.1 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTAR DEL ESCENARIO I.....	58
TABLA 4.2 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO I	59
TABLA 4.3 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO II.....	64
TABLA 4.4 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO II	64
TABLA 4.5 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO III.....	68
TABLA 4.6 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO 3	69
TABLA 4.7 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO IV	72
TABLA 4.8 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO IV	73
TABLA 4.9 EFICIENCIAS PROMEDIOS DE ELIMINACIÓN DE CADA PARAMETRO OPERACIONAL.....	87
TABLA 4.10 ANÁLISIS DE VARIANZA DE CADA ESCENARIO	87
TABLA 4.11 INDICADORES AMBIENTALES	90
TABLA 4.12 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES	92

TABLA 4.13 CONSIDERACIONES OPERATIVAS Y ECONÓMICAS DE LAS PTARS PARA LA ELABORACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS	93
TABLA 4.14 INDICADORES ECONÓMICOS	95
TABLA 4.15 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES ECONÓMICOS	96
TABLA 4.16 INDICADORES SOCIALES	98
TABLA 4.17 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES SOCIALES	99
TABLA 4.18 CATEGORIZACIÓN DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN (%) DE LOS PARÀMETROS FISICO-QUÍMICOS	99
TABLA 4.19 CATEGORIZACIÓN EN PORCENTAJES DE LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	100
TABLA 4.20 CATEGORIZACIÓN EN PORCENTAJES DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN E INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 PROCESOS UNITARIOS INVOLUCRADOS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	10
FIGURA 2.2 COMPONENTES BÁSICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	15
FIGURA 2.3 TIPOS DE VEGETACIÓN ACUÁTICAS USADAS EN HUMEDALES CONSTRUIDOS.....	21
FIGURA 2.4 CORTE LOGITUDINAL DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL.....	22
FIGURA 2.5 CORTE TRANVERSAL DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	22
FIGURA 3.1 LOCALIZACIÓN DE LAS PARROQUIAS PERIURBANAS DEL DMQ, 2016	32
FIGURA 3.2 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PACTO, 2016	34
FIGURA 3.3 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE GUALEA, 2016.....	36
FIGURA 3.4 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PUÉLLARO, 2016	38
FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE MINAS, 2016.....	40
FIGURA 3.6 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE NONO, 2016	42
FIGURA 3.7 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PINTAG, 2016	44
FIGURA 4.1 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN EL ESCENARIO I.....	60
FIGURA 4.2 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL ESCENARIO I	61

FIGURA 4.3 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO I	62
FIGURA 4.4 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL ESCENARIO I	63
FIGURA 4.5 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL ESCENARIO II	65
FIGURA 4.6 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL ESCENARIO II.....	67
FIGURA 4.7 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES PARA EL ESCENARIO III.....	70
FIGURA 4.8 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO III.....	71
FIGURA 4.9 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES PARA EL ESCENARIO IV.....	74
FIGURA 4.10 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES PARA EL ESCENARIO IV.....	76
FIGURA 4.11 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO IV	77
FIGURA 4.12 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO IV.....	79

FIGURA 4.13 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL PARA EL ESCENARIO IV.....	80
FIGURA 4.14 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRATOS PARA EL ESCENARIO IV	82
FIGURA 4.15 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO DE AMONIO PARA EL ESCENARIO IV.....	84
FIGURA 4.16 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL PARA EL ESCENARIO IV.....	85

RESUMEN

En Ecuador, el 61,9% de los Municipios dan algún tipo de tratamiento a las aguas residuales que generan. La región sierra representa el 49,9% de esta cobertura, existiendo variadas tipologías de tratamiento en el sector rural de esta región que no han sido evaluadas desde una mirada ambiental, económica y social. La aplicación de estrategias multicriterio que evalúen de forma comparativa el desempeño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) en zonas rurales permitiría determinar cuál(es) son las más convenientes ajustadas a la realidad local. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio fue generar una propuesta metodológica de evaluación de sustentabilidad, integrada por indicadores aplicables a sistemas de tratamiento de aguas residuales del sector rural del Ecuador.

La metodología, se basó en tres etapas: la recolección de información, manejo y posterior procesamiento de la misma. La información correspondió a bases de datos de operación, visitas a campo y entrevistas a los operadores de 14 PTARs manejadas por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). El manejo de la información, requirió agrupar dichas PTARs de acuerdo a nivel de tratamiento en 4 escenarios. Mediante análisis estadístico descriptivo y de varianza, se analizó en forma comparativa la operación de las PTARs entre los escenarios de tratamiento. Posteriormente, la misma información fue utilizada para generar Indicadores de Sustentabilidad (IS), los mismos que fueron comparados estadísticamente; el análisis permitió inferir que escenario ofrece mejor desempeño desde el punto de vista de la sustentabilidad.

Los resultados obtenidos permitieron determinar que el mejor escenario de desempeño operacional fue el IV, con porcentajes de eliminación promedios en Sólidos Totales (ST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) de 34,6 y 49,5%, respectivamente; mientras que, en eliminación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se registró valores promedios de 66,2%; en términos de nutrientes, se evidenció un rendimiento de 41% en la eliminación de Nitrógeno Total (NT). Toda

esta información operacional sólo tiene relación positiva con el indicador de sustentabilidad ambiental, de calidad del efluente con el 84% de cumplimiento a la normativa. El resto de indicadores ambientales, determinan que este escenario es el que más energía consume (42,42 kW-h/hab.año), requiere de 0,34 kg $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ /hab.año y genera en promedio 0,66 m³ lodos/hab.año, principalmente en PTARs que disponen de lodos activados. El área ocupada es el principal inconveniente en este escenario sobretodo en PTARs que utilizan humedales construidos. Desde el punto de vista social, este escenario favoreció cobertura del servicio con 93%, presentó mayores costos de operación (85,47 USD/hab.año) e inversión (259 USD/hab). Las PTARs categorizadas en el escenario I, II y III, mostraron ser más económicas que el escenario IV. Sin embargo, desde el punto de vista social escenario I pueden no brindar cobertura por el tamaño y mala operación de estas PTARs; mientras, otros escenarios (I, II y III) desde el punto de vista ambiental no necesariamente brindan condiciones de calidad adecuada al efluente para su descarga. Las tipologías que mejores condiciones ambientales, económicas y sociales fueron dos, aquella basada en 4 etapas de tratamiento que utilizó humedales construidos (P₁₂ EI-V) y aquella basada en 3 etapas de tratamiento que es la P₂₁ E-III. Mientras, que la PTAR con efectos negativos a nivel ambiental, económico y social fue P₃₁ EIV basada en lodos activados y desinfección en la etapa secundaria y terciaria, respectivamente.

ABSTRACT

In Ecuador, 61,9% of the governments perform some type of wastewater treatment. Sierra Region represents 49,9% of this coverage with some typologies used in rural sector. This Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the rural sector are not being evaluated from a point view environmental, economic and social. It's necessary to apply multicriteria strategies that evaluate in a comparative the performance of the WWTPs, and determine which(s) are the most suitable adjusted to our reality. Therefore, the aim of this study was generating a methodological proposal for the evaluation by sustainability indicators applicable to WWTPs from ecuadorian rural sector.

The methodology was based in three phases: information collection, their management and processing. The information was obtained corresponded to operation databases, field visits and interviews to the operators of 14 WWTPs managed by obtaining information from the EPMAPS. The management of the information required to group these WWTPs according to treatment level in 4 scenarios. By means of statistical analysis descriptive and of variance was analyzed in comparative way the operation of the WWTPs between of the scenarios of treatment. Subsequently, the same information was used to generate sustainability indicators (SI), which were statistically compared. The analysis allowed inferring that scenario offers better performance from the point of view of sustainability.

The results obtained allowed to determine that the best operational performance scenario was the IV, with average elimination percentages in Total Solids (TS) and Volatile Suspended Solids (VSS) of 34,6 and 49,5% respectively. While, in the Chemical Oxygen Demand removal (COD) was recorded average values of 66,2%. In terms of nutrients, this scenario showed a yield of 41%in Total Nitrogen elimination (TN). All this operational information is only positive in relation to the environmental compliance with the normative with 84%. The other environmental indicators determine that this scenario is the most energy consuming (42,42 kW-h/hab.año), more chemical inputs are required with 0,34 kg/hab.año and generates

more sludge ($0,66 \text{ m}^3/\text{hab.año}$) mainly in WWTPs that have activated sludge. The occupied area is the main drawback in this scenario especially in WWTPs using constructed wetlands. From the social point of view, this scenario favored service coverage with 93%. However, this scenario also presented the highest operating costs ($85,4 \text{ USD}/\text{hab.año}$) and investment ($259 \text{ USD}/\text{hab}$), especially in conventional activated sludge systems. The WWTPs categorized in scenario I, II and III, were shown to be more economical than scenario IV. However, from the social point of view some scenarios (I) may not provide coverage for the size and bad operation of these WWTPs. Meanwhile, other scenarios (I, II and III) from an environmental standpoint do not necessarily provide adequate quality conditions to the effluent for discharge. The typologies that the best environmental, economic and social conditions were two that bases on 4 stages of treatment that used constructed wetlands ($P_{12} \text{ E-IV}$). And that based on 3 stages of treatment that is the $P_{21} \text{ E-III}$. Meanwhile, that WWTPs with negative effects at the environmental, economic and social level was based on activated and disinfection in the secondary and tertiary stage respectively.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de investigación se encuentra distribuido en 5 capítulos, detallados de la siguiente manera:

El capítulo 1, “Introducción”, detalla los antecedentes de la investigación, además presenta los objetivos general y específicos, la justificación y alcance del proyecto.

El capítulo 2, “Marco Teórico”, presenta en una revisión bibliográfica las características de las aguas residuales domésticas la descripción de los tratamientos enfocados al sector rural y las herramientas utilizadas para evaluar de forma comparativa el desempeño de las PTARs.

El capítulo 3, “Metodología”, explica detalladamente el procedimiento de evaluación comparativa del funcionamiento de las PTARs y se describen las actividades de cada etapa, como es la recopilación de la información, clasificación por escenarios de tratamiento, identificación de los IS aplicables y el análisis previo a la obtención de los resultados.

El capítulo 4, “Resultados y Discusión”, aborda los resultados obtenidos del análisis estadístico comparativo relacionando el funcionamiento operacional de las PTARs del mismo escenario y entre escenarios de tratamiento, así como también el análisis estadístico de los IS comparando los distintos escenarios.

El capítulo 5, contiene las conclusiones de acuerdo con los objetivos del proyecto, así como, las recomendaciones para futuras investigaciones.

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

%: Porcentaje

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)

DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

DMQ: Distrito Metropolitano de Quito

Ca(ClO)₂: Hipoclorito de calcio

EEQ: Empresa Eléctrica de Quito

EPMAPS: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento

GPG: Gobierno Parroquial de Gualea

GPN: Gobierno Parroquial de Nono

GPP: Gobierno Parroquial de Pacto

GPPintag: Gobierno Parroquial de Pintag

GPPuéllaro: Gobierno Parroquial de Puéllaro

GPSJM: Gobierno Parroquial de San José de Minas

hab: habitantes

IGM: Instituto Geográfico Militar.

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

IS: Indicador de Sustentabilidad

kW-h: kilovatio-hora

LMP: Límite Máximo Permisible.

m³: metro cúbico

NT: Nitrógeno total (mg/L)

NH₄⁺: Amonio (mg/L)

NO₃⁻: Nitratos (mg/L)

PT: Fósforo total (mg/L)

PTARs: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

SNI: Sistema Nacional de Información

ST: Sólidos Totales (mg/L)

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L)

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

WSP: Water and Sanitation Program

WWAP: World Water Assessment Program

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Globalmente, existe un gran déficit de tratamiento de las aguas residuales; alrededor de 2400 millones de personas no tienen acceso a este servicio básico, lo que representa el 42% de la población mundial (WWAP, 2017). La generación de residuos líquidos a escala mundial (domésticos e industriales), representa alrededor del 15% del total de agua dulce disponible destinada para actividades humanas (Mateo-Sagasta et al., 2015). En países en desarrollo, más del 80% de las aguas residuales generadas se descargan sin tratamiento a cuerpos de aguas superficiales (WWAP, 2017). En Ecuador, el 61,9% de los municipios realizan algún tipo de tratamiento a las aguas residuales, en donde la región sierra representa el 49,9% de esta cobertura, con 210 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (INEC, 2016). No obstante, existen iniciativas puntuales de PTAR enfocadas a zonas rurales y periurbanas en las grandes ciudades del país, este es el caso del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en donde ya se han construido y están operando alrededor de 20 PTARs (EPMAPS, 2014).

Los principales problemas ambientales, provocados por la ausencia de tratamiento de aguas residuales procedentes de zonas pobladas, están relacionados directamente con la eutrofización, toxicidad, disminución de la biodiversidad y pérdida de la calidad de los cuerpos de agua superficial y subterránea (Cárdenas et al., 2012; Peña et al., 2013). Además, efectos no directos generados cuando se infiltra o escurre agua residual al suelo, son la pérdida de las propiedades agronómicas del suelo, toxicidad de organismos terrestres y lixiviación de algunos contaminantes (nitratos, metales, etc.) hacia las aguas subterráneas (García, et al., 2006).

En zonas rurales (< 2000 hab), la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales está limitada por motivos económicos (WSP, 2006). Sin embargo,

existen varias configuraciones de tratamiento que han sido implementadas en el sector rural (García, et al., 2006). Por un lado, zonas rurales con importante densidad poblacional que disponen de cobertura de alcantarillado, implementan plantas convencionales completas, cuyas tecnologías emblemáticas de tratamiento secundario son: lodos activados, lagunas de oxidación y filtros anaerobios (EPMAPS, 2014). Por otro lado, en zonas con población dispersa y que carecen de alcantarillado, se ha optado por tecnologías no convencionales que intentan suplir todas las etapas de tratamiento, tales como: humedales artificiales, biofiltros, vermifiltros, entre otros (WSP, 2006). Este escenario abre oportunidades para definir herramientas multicriterio que permitan identificar, cual es el rendimiento y tipologías convenientes para el sector rural, considerando variables de orden técnico-económico, ambiental y social (García, et al., 2006). Por ejemplo, se ha evidenciado que humedales pueden requerir menos energía ($0,1 \text{ kW-h/m}^3$) que sistemas de aireación extendida ($2,39 \text{ kW-h/m}^3$) (Vymazal y Kröpfelová, 2008); mientras, lodos activados utilizan 30% menos espacio que sistemas de biofiltración (Piérart y Chiang, 2013).

Con el objetivo de evaluar multidimensionalmente la mejor alternativa, se han desarrollado herramientas de toma de decisión, que posibilitan abordar el análisis multicriterio con una perspectiva global. En ese sentido, cabe destacar el uso de instrumentos estadísticos e Indicadores de Sustentabilidad (IS).

Herramientas estadísticas (análisis correlativos, de varianza y jerárquicos) basadas en el uso de base de datos temporales de PTARs, han sido empleadas exitosamente en el ámbito sanitario. Vera et al., (2011) han aplicado análisis jerárquico y distribución acumulada de probabilidades para determinar similitudes en el rendimiento de PTARs en España, con bases de datos de 8 años de operación. Por otro lado, en Chile estos mismos investigadores aplicando herramientas estadísticas similares determinan comparativamente el funcionamiento y comportamiento de 14 PTARs a escala rural.

IS han sido ampliamente aplicados en el rubro sanitario, utilizados como estrategia del desempeño de la actividad humana y sus emisiones (aguas residuales) y el

cómo éstas pueden comprometer el desarrollo de futuras generaciones (Balkema, et al., 2002). Un IS es una herramienta cuantitativa que analiza cambios, y se constituye en un instrumento de gestión de los recursos económicos, sociales, institucionales y ambientales relacionados a un problema o condición (Olsson et al., 2004; Waas et al., 2014). La importancia de los indicadores radica en la función de simplificar, cuantificar y ordenar la información para comunicar de manera más sencilla los cambios en el estado de los recursos naturales (Palme et al., 2005). Existen algunas iniciativas previas de aplicación de los IS al sector sanitario. Así en Suecia, los IS han permitido evidenciar problemas respecto a la infraestructura y la gestión sostenible de PTARs que cumplieran con la normativa ambiental, generando un programa nacional que define criterios de sustentabilidad en este sector (Lundin, et al., 1999). Por otro lado, en King William, Sudáfrica, estos IS fueron aplicados a PTARs con rendimiento deficiente, permitiendo evidenciar alternativas más asequibles ajustadas a la problemática de este sector (Zinn, 2000).

Actualmente, las 14 PTARs que se encuentran dentro del DMQ, cubren poblaciones menores a 500 habitantes. Las tecnologías implementadas son de diversa índole lo que hace interesante evaluar que tipología o tipologías son las más adecuadas a la realidad local.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta metodológica de evaluación de sustentabilidad, integrada por indicadores aplicables a sistemas de tratamiento de aguas residuales del sector rural del Ecuador.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el comportamiento operacional de las PTARs del sector rural del DMQ, mediante análisis estadístico comparativo, con la finalidad de establecer el comportamiento operacional de tipologías de tratamiento.

- Identificar indicadores de sustentabilidad aplicables a PTARs del sector rural del DMQ, mediante generación de indicadores basados en datos reales obtenidos de dichas PTARs.
- Analizar comparativamente el desempeño ambiental, económico y social de las PTARs, mediante la aplicación de los indicadores de sustentabilidad, con el fin de determinar la tipología o tipologías que describen mejor comportamiento en base a los criterios de sustentabilidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Si bien el desarrollo y aplicación de estrategias que evalúen en forma comparativa a PTARs han sido aplicados a nivel mundial (Hellström et al., 2000; Emerson et al., 1995), resulta de suma importancia establecer un sistema de estrategias aplicable al país y más aún enfocados al sector rural (< 30% de cobertura en alcantarillado) (SENPLADES, 2014). Estas estrategias (análisis estadístico) proporcionan información directa o indirecta, acerca del desempeño en el sector sanitario de PTARs, otras (indicadores de sustentabilidad) permiten darle un enfoque social, económico y ambiental al análisis del desempeño de las PTARs. Todas estas acciones permitirán diseñar políticas con connotación integral, así como ayudar a los encargados de la toma de decisiones en relación con las necesidades socioeconómicas, ambientales y políticas que requieren dichas PTARs (Barrantes, 2006; Fernández, 2006). En sí mismas, estas estrategias teóricas basadas en información real constituyen una herramienta multidimensional (operación, socio-económico, ambiental) de toma de decisiones y económica que favorecería la implementación de PTARs en forma planificada, ahorrando costos de construcción, operación y mantenimiento (Olsson et al., 2004). Al aplicarlas al sector sanitario, permite establecer el seguimiento, evaluación, y desempeño ambiental de las PTARs en forma integral y anticipar soluciones en forma oportuna (Lundin et al., 1999).

En este estudio, se trabajara con datos reales de variables operativas, ambientales (descargas líquidas), económicas y sociales de PTARs de zonas rurales aledañas al DMQ (EPMAPS, 2014). El uso de información real, permitirá obtener como

resultado una aproximación más certera del desempeño de dichas plantas bajo condiciones locales (Waas et al., 2014). Por las razones expuestas, la puesta en marcha de proyectos que posibiliten la evaluación del comportamiento de PTARs, toma una importancia dentro de la gestión y desarrollo sustentable.

1.4 ALCANCE

El presente proyecto de investigación, busca generar una herramienta de evaluación del comportamiento de PTARs mediante IS, considerando como caso de estudio las PTARs de las zonas rurales del DMQ.

El levantamiento de información operativa, caracterización físico-química, descripción tipológica y consumo energético fueron obtenidas de la EPMAPS de 14 PTARs procedentes de parroquias rurales del DMQ (Gualea, Nono, Pacto, Pintag, Puéllaro y San José de Minas). A partir de la información brindada, se realizó un análisis comparativo del comportamiento operacional de las PTARs, mediante estadística descriptiva y análisis de varianza.

La generación de IS aplicables a PTARs del sector rural del DMQ, fueron basadas en información real, permitiendo obtener como resultado una aproximación sobre el desempeño ambiental, económico y social de dichas plantas. De manera conjunta, se aplicó análisis de varianza de estos IS para determinar si estadísticamente hay diferencias entre las tipologías de tratamiento, e inferir que tipología ofrece mejor desempeño en el ámbito de la sustentabilidad.

Los resultados obtenidos e información relevante sobre la aplicación de indicadores de sustentabilidad en PTARs, pueden ser información valiosa que permita la planificación del saneamiento del sector rural. Además, este tipo de estrategias teóricas es de gran apoyo para orientar a futuro a los operadores y gestores de PTARs, sobre que tecnología es más conveniente implementar para la realidad rural del Ecuador.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES RURALES

Toda actividad humana genera residuos líquidos, siendo los procedentes de las actividades domésticas denominados aguas residuales domésticas. En zonas urbanas, las aguas residuales proceden de actividades industriales, domésticas, comerciales e incluso aguas pluviales, denominándose aguas residuales municipales. En zonas rurales, las aguas residuales son principalmente de procedencia doméstica y un remanente de actividades pecuarias (Metcalf y Eddy, 2003).

La generación *per cápita* de aguas residuales urbanas y rurales bordean entre 50 a 400 L/hab día, siendo la generación menor a 150 L/hab día para poblaciones rurales (Villamar et al., 2017). Las condiciones de variabilidad dependen del poder adquisitivo de la población, hábitos de consumo, razones culturales y otros factores particulares (Doméneh y Peral, 2006). Sin embargo, generalmente aguas residuales urbanas son en promedio 35 % más concentradas que las aguas residuales rurales, debido a las propiedades físico-químicas (Vera, 2012).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El agua residual cruda de origen doméstico, principalmente está compuesta de 99% de agua natural y solo el 0,1% constituyen las impurezas (Metcalf y Eddy, 2003). Las aguas residuales contienen en solución, una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos, de los cuales algunos son reactivos mientras otros son recalcitrantes o de difícil degradación (Arriaza, 1999). Las características del componente orgánico e inorgánico, pueden evaluarse mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Hellström et al., 2000). Los parámetros son descritos como determinaciones analíticas en laboratorio o *in situ*, y son herramientas utilizadas para determinar la composición de las aguas residuales. Dentro de los parámetros

evaluados en las aguas residuales están los sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos sedimentables (SSed). Sólidos Totales son el residuo que se obtiene luego de un proceso de evaporación a la muestra de agua (103-105°C) (Salazar, 2005). Los SDT corresponden a la fracción de sólidos que no queda retenida por el filtro de 0,45 µm (Pulamarin, 2016), y los SST como la fracción que queda retenida en el filtro (Valencia, 2013). La fracción volátil (Sólidos Suspendidos/Disueltos Volátiles o SSV/SDV) de estos residuos sólidos, representa la materia orgánica y se determina mediante la calcinación de una muestra previamente evaporada a rangos entre 500 a 600°C (Sánchez, 2011). El residuo de la calcinación se denomina Sólidos Fijos (SSF/SDF) (Arriaza, 1999). Finalmente, los SSed son una medida del volumen (mL) de sólidos que se asientan en un cono Imhoff, en un periodo entre 30 a 60 minutos (Orozco, 2005). Las concentraciones típicas de sólidos presentes en las aguas residuales municipales se presentan en la Tabla 2.1. Cabe destacar, que el Anexo 1 del TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental) sólo regula los parámetros ST, SST y SSed para la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua superficial dulce/marina y alcantarillado. Los valores descritos varían entre 1600 mg ST/L, 100 a 200 mg SST/L y 1 a 20 mL SSed/L, condición que por lo general no cumplen las aguas residuales municipales.

TABLA 2.1 CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Parámetro	Simbología	Concentración (mg/L excepto SSed en mL/L)
Sólidos Totales	ST	680-1000
Sólidos Suspendidos	SS	380-500
Sólidos Totales Volátiles	STV	200-290
Sólidos Suspendidos Volátiles	SSV	150-240
Sólidos Sedimentables	SSed	20-30*

FUENTE: U.S. EPA (1980)

Otro parámetro importante es la materia orgánica, factor característico de las aguas residuales de procedencia doméstica. La forma habitual (cuantitativa) de evaluar el grado de contaminación, es mediante la determinación de la Demanda Química de

Oxígeno (DQO) y/o Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DQO, determina la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar químicamente materia orgánica. En este ensayo, se efectúa la oxidación de la materia orgánica utilizando un agente químico oxidante (dicromato de potasio/permanganato/cerio) en medio ácido (ácido sulfúrico), bajo la acción de catalizadores químicos (sulfato de plata, cloruro de yodo) y térmicos (350 °C), para convertir la materia oxidable en anhídrido carbónico y agua (Valencia, 2013). Un agua residual doméstica tiene en general valores de DQO entre 250 a 1000 mg/L (Metcalf y Eddy, 2003). La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesario para que microorganismos endógenos y/o exógenos estabilicen (mineralicen) la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual en CO_2 , H_2O , NO_3^- , etc (Salazar, 2005). Una agua residual doméstica tiene en general valores de DBO_5 entre 100 a 400 mg/L (Doméneh y Peral, 2006). Tanto la DQO como DBO_5 , son reguladas en el Anexo 1 del TULSMA y cuyos valores bordean los 250 a 500 y 250 a 100 mg O_2/L , respectivamente.

En aguas residuales, es común tener la presencia de Nitrógeno y Fósforo, su presencia se debe principalmente a fertilizantes, detergentes y excretas humanas (Plaza de los Reyes et al., 2011). El nitrógeno es principal elemento de las proteínas, así también es esencial para el crecimiento de algas y bacterias (Rockne y Brezonick, 2006). El contenido total en nitrógeno presente en las aguas residuales está compuesto por una fracción orgánica ($\text{N}_{\text{orgánico}}$) nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y una fracción inorgánica dada por nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) (Jiménez, 2001). Otro nutriente esencial es el fósforo, importante para el crecimiento de microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Salazar, 2005). Este componente puede estar formando compuestos orgánicos (proteínas) y compuestos minerales (polifosfatos y ortofosfatos) (Jiménez, 2001). El exceso en contenido de fósforo en aguas residuales, provoca la proliferación excesiva de algas, lo que puede causar eutrofización en cuerpos receptores (Metcalf & Eddy, 2003). En la Tabla 2.2 se presentan las concentraciones de nutrientes en aguas residuales municipales. De acuerdo al Anexo 1 del TULSMA, lo que se regula bajo el concepto de descarga es

Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK = NH_4^+ + $\text{N}_{\text{orgánico}}$), NO_3^- + NO_2^- y Fósforo Total. Los valores establecidos para estos parámetros como límites de descarga varían entre 40 mg NTK/L, 10 mg N/L y entre 10 a 15 mg PT/L, valores que denotan que aguas residuales municipales podrían requerir de tratamiento para cumplir con estos parámetros.

TABLA 2.2 CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Parámetro	Simbología	Concentración (mg/L)
Nitrógeno Total	NT	35-100
Amonio	NH_4^+	6-18
Nitritos y nitratos	NO_3^- y NO_2^-	<1
Fosforo Total	PT	18-29
Fosfatos	PO_4^{3-}	6-24

FUENTE: U.S. EPA (1993)

En la Tabla 2.3 se presenta una comparación de valores típicos principales parámetros que caracterizan las aguas residuales urbanas y rurales (domésticas).

TABLA 2.3 CONCENTRACIONES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y RURALES

Parámetro	Unidad	Aguas Residuales Urbanas ^a	Aguas Residuales Rurales ^b
		Concentración	
Sólidos Suspendidos	mg/L	150-300	300-500
DBO	mg/L	200-300	400-600
DQO	mg/L	300-600	800-1200
Nitrógeno	mg/L	50-75	50-100
Fosforo	mg/L	15-20	10-20
Grasas	mg/L	50-100	50-100
Coliformes Totales	UFC/100mL	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8

FUENTE: Metcalf y Eddy (2003)^a, CENTA (2010)^b

Las características dadas por los caudales y calidad de las aguas residuales rurales (domésticas), difieren de las aguas residuales provenientes de las zonas urbanas. Principalmente las aguas residuales domésticas provienen de viviendas de actividades comerciales y establecimientos públicos y en general se descargan al alcantarillado público (Salazar, 2005). La generación de aguas residuales está en

relación directa con el consumo de agua potable y este consumo se traduce a un grado de desarrollo económico y social (Barañao y Tapia, 2004).

2.1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales, tiene por objetivo la disminución de los contaminantes previo a la descarga a cuerpos de agua, de tal manera los niveles de contaminación del agua tratada se adapten a las normativas ambientales regionales. Para lograr este objetivo son necesarios varios procesos y operaciones unitarias que garanticen un adecuado tratamiento y disposición del agua. (Arboleda, 2012). Existen distintos tipo de tratamiento y procesos destinados a un objetivo final, que es generar un efluente reutilizable en el ambiente (Quijia, 2015). Las etapas de tratamiento se pueden clasificar en tratamientos preliminares, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario-avanzado (Arriaza, 1999). En la Figura 2.1 se muestra los distintos tratamientos y procesos que en ellos tienen lugar.

FIGURA 2.1 PROCESOS UNITARIOS INVOLUCRADOS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



FUENTE: CENTA (2010)

ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 2.4 se presentan de manera general, los porcentajes promedios de eliminación de parámetros como sólidos en suspensión, DBO₅ y *Escherichia coli*, en las diferentes etapas de tratamiento

TABLA 2.4 EFICIENCIAS PROMEDIOS (%) DE DEPURACIÓN DE VARIOS PARÁMETROS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL TRATAMIENTO

	Sólidos en suspensión (%)	DBO₅ (%)	<i>Escherichia coli</i> (%)
Pretratamiento	5-15	5-10	10-25
Primario	40-70	25-40	25-70
Secundario	80-90	80-95	90-98
Terciario	90-95	95-98	98-99

FUENTE: Metcalf y Eddy (2003)

ELABORACIÓN: Javier García

2.1.2.1 Preliminar

Consiste en un conjunto de operaciones mecánicas y físicas que permiten la separación de sólidos gruesos, arenas, los cuales al no ser removidos pueden causar inconvenientes (incrustaciones en válvulas, obstrucciones de tuberías, o deterioro de los equipos) en los procesos posteriores de tratamiento (Rojas R., 2002).

En esta etapa de tratamiento están involucrados procesos físicos, debido a que por sus propiedades remueven material flotante, desechos sólidos (basura), separación de sólidos de gran tamaño, etc (Ramalho, 1990). Los procesos incluyen uso de tamices, rejas gruesas o tamices para remover grandes sólidos y/o trituradores para desintegrar partículas gruesas y desarenadores (Quijia, 2015).

2.1.2.2 Primario

Consiste en la eliminación parcial de sólidos orgánicos e inorgánicos mediante la sedimentación o precipitación química (Ramalho, 1990). Estas unidades pueden proporcionar un tratamiento ideal al agua residual o ser un paso previo a un tratamiento posterior (Fábregas, 2006). Además estas unidades desempeñan una

función de homogenización de caudales y reducción de cargas (Metcalf y Eddy, 2003).

Las principales tecnologías son la fosa séptica, tanque Imhoff, sedimentadores primarios, coagulación-floculación y precipitación (U.S. EPA, 1980; Pulamarin, 2016). La eliminación de sólidos inorgánicos y orgánicos se centra en aquellos fácilmente sedimentables, permitiendo la eliminación alrededor del 50% y de la DBO₅ en al menos el 30% (Ramalho, 1990; Metcalf y Eddy, 2003).

El porcentaje de eliminación para los sólidos en suspensión tiene un rango de 40 al 70%, ya que este tipo de tecnologías son enfocadas para ese propósito, pero además hay que señalar que estas tecnologías reducen en promedio el 30% de materia orgánica presente en el agua residual (Metcalf y Eddy, 2003).

2.1.2.3 Secundario

El tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico tanto aerobios como anaerobios (Hellström et al., 2000). Tiene como finalidad la eliminación de materia orgánica disuelta y sólidos suspendidos remanentes de procesos de tratamiento previos (Baraño y Tapia, 2004; U.S. EPA, 1980).

- La actividad de los microorganismos presentes en las aguas residuales, permite la degradación de la materia orgánica biodegradable ya que esta constituye la fuente de energía (carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo), para el crecimiento de las bacterias, permitiendo la conversión en gases (CO₂) y biomasa (Wagner, 2010). Se distinguen tres casos de procesos biológicos: aeróbicos, anaeróbicos y anóxicos (Ramalho, 1990). Los procesos aeróbicos se efectúan en presencia de oxígeno, siendo los más comunes en el tratamiento de aguas residuales, mientras que, los procesos anaeróbicos consisten en tratamiento en ausencia de oxígeno, y los procesos anóxicos, la ausencia de oxígeno disuelto (O₂) y la presencia de nitratos (NO₃⁻) hace posible en condiciones específicas la eliminación de nitrógeno (procesos de desnitrificación) (Valencia, 2013). Comúnmente viene acompañado de un proceso de sedimentación secundaria que ayuda a la eliminación de material

inorgánico formado en la etapa anterior (Metcalf y Eddy, 2003). Procesos biológicos más comunes utilizados en zonas rurales son: lagunas aireadas, facultativas, de maduración, filtros biológicos, lodos activados, humedales construidos, lechos de infiltración construidos (Wagner, 2010) .

Como se evidencia en la Tabla 2.4, la eliminación de la materia orgánica, función principal de este tipo de tratamiento, existe un rango de 80 a 95% de eliminación.

2.1.2.4 Terciario

La finalidad de este tratamiento, es la eliminación de compuestos específicos tales como: nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos (*Eichericha coli*) y otros componentes. En aguas residuales urbanas y rurales, el foco de este tratamiento está dado en la eliminación de nutrientes y patógenos. Los procesos involucrados en la eliminación de nutrientes se basan en procesos biológicos y en el caso de patógenos en biológicos y físico-químicos. En la eliminación biológica de nutrientes, en el caso del nitrógeno se opera de forma secuencial bajos procesos óxicos y anóxicos, permitiendo su transformación en forma de nitrógeno gaseoso (N_2), mientras que, la eliminación de fosforo se combinan procesos anaerobios, óxicos y anóxicos quedando el fosforo retenido en los microorganismos y posteriormente siendo eliminados como lodos en exceso. Otro tipo de tratamiento avanzado es la desinfección, que permite obtener un efluente con una adecuada calidad físico-química-biológica logrando una reutilización del agua tratada (Rojas R. , 2002). El tratamiento terciario por desinfección suele realizarse mediante agentes químicos ($Ca(ClO_2)$) , el O_3 y la radiación UV (CENTA, 2010). La desinfección es un proceso que permite destruir microorganismos patógenos, responsables de la transmisión de enfermedades (Solsona y Méndez, 2002). La desinfección por agentes químicos, poseen gran eficiencia eliminación de patógenos, pero pueden dejar remanentes tóxicos en el efluente final (Arboleda, 2012). Mientras que el ozono debido a sus características reactivas e inestables destruye las membranas celulares de los microorganismos, teniendo alta capacidad bactericida (Fábregas, 2006). Con respecto a la radiación ultravioleta (UV), es un tipo de desinfección que penetra la pared celular de los microorganismos, ya que los rayos UV inactivan los ácidos nucleicos (ADN y ARN) impidiendo la reproducción o producir la muerte de

bacterias (Pulamarin, 2016). El elemento más utilizado en la desinfección es el cloro al ser más económico (Fábregas, 2006).

El tratamiento avanzado permite altos valores de porcentaje de eliminación, además permite reducir el contenido de virus, bacterias, organismos patógenos con porcentajes del 99% de eliminación, evitando daños a la salud pública y resultando un efluente final reutilizable.

2.1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR RURAL DEL DMQ

El sector rural, se considera al asentamiento humano concentrado o disperso que tienen 1000 o menos habitantes. El porcentaje de la población según el censo del 2010 del DMQ, determina que en las zonas urbanas se encuentra el 71,8% de la población y el restante 28,2% vive en las zonas rurales (SNI, 2010).

El tratamiento de las aguas residuales en los sectores urbanos y rurales en el DMQ, se sustenta en el **Programa de descontaminación de los ríos en Quito**, que tiene por objetivo el manejo integral y adecuado de los residuos líquidos provenientes de las descargas domésticas y actividades productivas del DMQ, los cuales son colectados a través del sistema de alcantarillado, contribuyendo a la minimización de impactos, contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población y a la recuperación ambiental del entorno (EPMAPS, 2017).

Este programa incluye: la captación, conducción y tratamiento de un caudal de 7550 L/s de aguas residuales provenientes principalmente de los ríos Machángara, San Pedro, Monjas y Guayllabamba, en el sur, centro y norte de la ciudad. Además, aguas residuales de las parroquias orientales aportantes al sistema. Por lo tanto, el proyecto incluye también la reparación y rehabilitación de las PTARs existentes en los sectores rurales (EPMAPS, 2017).

El principal inconveniente que se presenta al brindar un tratamiento adecuado a las aguas residuales, es el costo económico que representa un sistema de alcantarillado que incluye una red de colectores, la PTARs y la disposición final de las aguas residuales tratadas. En este contexto, en agosto del 2017 entró en

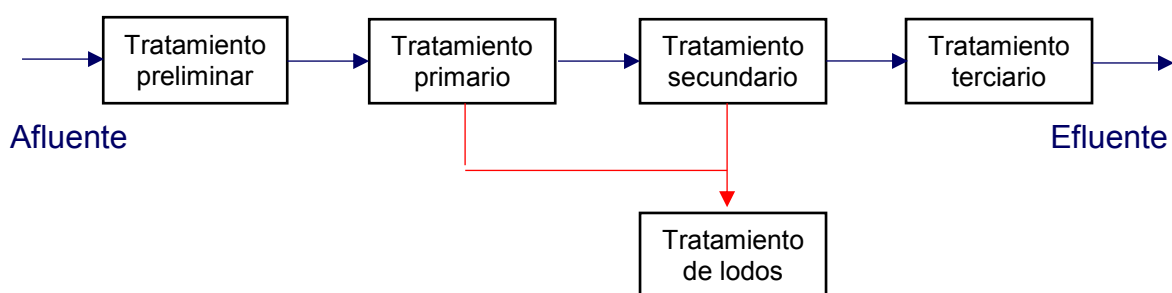
operación la PTAR en la parroquia Lloa, la cual tratará sus aguas residuales, mejorando así el estado ambiental y natural del río Cinto. La inversión asciende a USD 714.410,00 (EPMAPS, 2017).

Los sectores rurales poseen distintas formas de tratamiento o disposición de las aguas residuales. Aquellas localidades que están conectadas a un sistema de alcantarillado, cuyas aguas se dirigen a una PTARs y otros sectores que no poseen una red de alcantarillado, y utilizan alternativas de tratamiento individuales (fosas sépticas, letrinas, entre otros) (WWAP, 2017).

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS PTARS DE LOS SECTORES RURALES DEL DMQ

El esquema de un tratamiento de aguas residuales en forma general, consiste en etapas o procesos como son: pretratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario tal como se puede observar en la Figura 2.2.

FIGURA 2.2 COMPONENTES BÁSICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



FUENTE: Fábregas (2006).

En el DMQ, las PTARs que prestan el servicio a las poblaciones rurales son aquellas parroquias de: Gualea, Nono, Pacto, Pintag, Puéllaro y San José de Minas. Las PTARs, objeto de este estudio, tienen diferentes tipologías de tratamiento tal como se observa en la Tabla 2.5.

TABLA 2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PTARS DE LAS ZONAS RURALES DEL DMQ

PTARs	TIPO DE TRATAMIENTO			
	Pretratamiento	Primario	Secundario	Terciario
GUALEA CRUZ	Cribado y desarenador	Fosa Séptica	Filtro anaerobio	No tiene
LAS TOLAS	Cribado y desarenador	No tiene	Lodos activados con aireación prolongada	Cloración
BELLAVISTA	Cribado y desarenador	Tanque Imhoff	Humedal artificial	-
NONO	Cribado y desarenador	No tiene	Lodos activados con aireación prolongada	Cloración
INGAPI	Cribado	Fosa séptica	Humedal Artificial	-
LA DELICIA	Cribado y desarenador	No tiene	Lodos activados con aireación prolongada	Cloración
YURAC	No tiene	Fosa Séptica	No tiene	-
CHACHIL	No tiene	Fosa Séptica	No tiene	-
PINTAG	No tiene	Tanque Imhoff	Filtro anaerobio	-
UBILLUS	Cribado	Fosa séptica	Filtro anaerobio	-
ALONGUINCHO	No tiene	Fosa séptica	-	-
SAN LUIS DE ALONGUINCHO	No tiene	Fosa séptica	-	-
PINGUILLA	Cribado y desarenador	-	Vermifiltración	Cloración
LA CALERA	-	Fosa séptica	Filtro anaerobio	

FUENTE: EPMAPS (2017)

ELABORACIÓN: Javier García

2.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR PARA POBLACIONES RURALES DEL DMQ

2.2.1.1 Cribado

Es una unidad en el tratamiento preliminar, se emplea para la eliminación de sólidos gruesos (basura, residuos vegetales, etc.) (Quijia, 2015). El tipo de cribado que presenta la mayoría de las plantas son rejas de acero inoxidable de longitud promedio de 1 m, ancho de espaciamento entre 1 a 5 cm, y espesor de 10 cm, la inclinación de las barras metálicas oscila entre 45° a 60°, para facilitar la limpieza (Arriaza, 1999).

2.2.1.2 Desarenador

La finalidad principal de esta unidad es sedimentar partículas en suspensión por acción de la gravedad (Pulamarin, 2016). El propósito de la eliminación de arenas es impedir la formación de incrustaciones de material inerte en los equipos mecánicos (Peña et al., 2013). Existen desarenadores en 6 PTARs, por ejemplo la planta Las Tolas, presenta un compartimiento rectangular con un ancho de canal de 2 m, con una profundidad de 2,2 m y largo de 1,5 m, siendo el más grande en comparación a las demás plantas que poseen esta unidad. Mientras que, las plantas Gualea Cruz y Bellavista, con un volumen de 0,256 m³, son los más pequeños instalados, las estructuras son de concreto, poseen tapas metálicas para evitar la interacción de agentes externos (precipitaciones, polvo, etc.).

2.2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES RURALES DEL DMQ

2.2.2.1 Fosa séptica

Estas unidades se diseñan con dos compartimentos, en el primer compartimento se produce la sedimentación y además la digestión anaerobio de los lodos (Rojas, 2002). En segundo compartimento se produce la sedimentación de material en suspensión más pequeño que atravesó la primera cámara, evitando la descarga de los lodos en el efluente (U.S. EPA, 1980). Existen ocho (8) PTARs que poseen estas unidades de tratamiento. En la Tabla 2.6 se presentan las PTARs que tienen esta unidad de tratamiento, con el volumen total y el área superficial ocupada.

TABLA 2.6 VOLUMEN Y ÁREA SUPERFICIAL DE LAS FOSAS SÉPTICAS

PTARs	Volumen [m ³]	Área superficial [m ²]
YURAC	82,70	21,76
ALOGUINCHO	115,20	36,00
SAN LUIS DE ALOGUINCHO	124,60	38,94
UBILLUS	44,90	12,48
LA CALERA	35,00	17,50
GUALEA CRUZ	72,40	19,84
INGAPI	94,90	41,28

FUENTE: EPMAPS (2017)

2.2.2.2 Tanque Imhoff

Posee la misma función de una fosa séptica, la diferencia radica que, el tanque Imhoff tiene una distribución de compartimentos vertical, en la parte superior se produce la sedimentación y en la parte inferior la digestión de los lodos sedimentados (Morato y Peñuela, 2009). Por lo que se considera una fosa séptica mejorada, puesto que los sólidos sedimentan y pasan por ranuras hacia el compartimento inferior donde se almacenan y se produce la digestión, convirtiendo en un proceso más eficiente (Cárdenas, et al., 2012). Además posee un área de ventilación, para permitir el escape del gas (metano) por la digestión anaerobia (Arboleda, 2012). En la Tabla 2.7 se muestran las PTARs que poseen esta unidad de tratamiento con el volumen y el área superficial ocupada.

TABLA 2.7 VOLUMEN Y ÁREA SUPERFICIAL DE TANQUES IMHOFF

PTARs	Volumen [m ³]	Área superficial [m ²]
CHACHIL	82,5	16,5
PINTAG	76,7	14,8
BELLAVISTA	29,6	6,0

FUENTE: EPMAPS (2017)

2.2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES RURALES DEL DMQ

2.2.3.1 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Este sistema se trata de un tratamiento complementario al efluente proveniente del tratamiento primario (fosa séptica o tanque Imhoff), está constituido por un deposito relleno con material sólido (rosetas) que sirve de soporte para el crecimiento bacteriano (Quijia, 2015). El filtro se caracteriza por tener el flujo de tipo pistón, en el cual se encuentra materia de soporte de distinto tamaño, en los que se encuentran adheridas en forma de biopelícula, bacterias heterótrofas de tipo anaerobio. Debido a que el sistema es de flujo ascendente el afluente entra por la parte inferior, el medio de soporte permanece sumergido en el agua residual, la biomasa queda retenida en el lecho filtrante formando una película biológica, y al final sale por la parte superior para ser descargado o destinado a un tratamiento

posterior (Valencia, 2013). El filtro está constituido por una cámara con dimensiones específicas, en la cual están depositadas rosetas, material de soporte utilizado en el tratamiento. En la Tabla 2.8 se presentan las PTARs que poseen este tipo de filtro además y el volumen de la cámara.

TABLA 2.8 VOLUMEN DE LA CÁMARA DE LOS FILTROS ANAEROBIOS

PTARs	Volumen [m³]
PINTAG	24,00
UBILLUS	63,61
LA CALERA	7,50
GUALEA CRUZ	53,65
INGAPI	53,76

FUENTE: EPMAPS (2017)

2.2.3.2 Lodos activados

Es uno de los procesos más utilizados dentro del tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales (Castillo y Guerra, 2014). Es un sistema generalmente de mezcla completa, utiliza bacterias en condiciones aerobias del tipo heterótrofas, las que utilizan la materia orgánica como fuente de carbono y como fuente de energía es el oxígeno, las cuales degradan la materia orgánica presente en las aguas residuales. En el proceso se forman floculos de fácil decantación que se los conoce como lodo biológico o activo (Vera et al., 2013).

Este sistema se centra en un reactor donde los microorganismos (bacterias y protozoos) en presencia de oxígeno (mediante difusores o sistemas mecánicos), actúan sobre la materia orgánica e inorgánica suspendida, disuelta o coloidal presente en el agua residual, transformando en material fácil de separar del líquido, mediante sedimentación (U.S. EPA, 1980). Parte de los lodos biológicos sedimentables son recirculados al reactor con el objeto de garantizar la cantidad de microorganismos para continuar con el tratamiento del agua. La masa sobrante es eliminada o purgada para su estabilización (Charpentier, 2014). En general, todas las plantas poseen un sedimentador secundario utilizado para la separación de los lodos generados en el bioreactor. Existen tipologías de lodos activados dadas por las condiciones de aireación, siendo las más representativas alta carga, convencional y aireación extendida, este último no requiere de sedimentador

secundario. Las plantas que poseen este sistema de tratamiento biológico son: Las Tolas, La Delicia, y Nono; la Tabla 2.9 muestra el volumen y la potencia instalada de cada una de las PTARs.

TABLA 2.9 VOLUMEN Y POTENCIA INSTALADA DE LAS PTARs CON LODOS ACTIVADOS

PTARs	Volumen [m ³]	Potencia Instalada [KW]
LAS TOLAS	21,2	2,2
DELICIA	17,7	2,0
NONO	28,3	2,2

FUENTE: EPMAPS (2017)

2.2.3.3 Humedales construidos

Los humedales construidos son sistemas de tratamiento de flujo pistón, compuestas de una o más celdas que se caracterizan por tener un área saturada de agua superficial o subterránea y presencia de vegetación (macrófitas) adaptada a este tipo de condiciones saturadas (Lara, 1999; García et al., 2004).

La interacción de las plantas y microorganismos adaptados, transforman los contaminantes presentes en las aguas residuales mediante procesos biológicos, físicos y químicos (U.S. EPA, 1993). Estos se construyen en profundidades inferiores a 60 cm y generalmente formas rectangulares (Hammer, 1989).

Según Lara (1999), existen tres funciones principales que posibilitan el uso alternativo al tratamiento de las aguas residuales:

- Eliminación física de los contaminantes en la superficie del suelo y lecho orgánico.
- Utilización y transformación de elementos por microorganismos.
- Niveles de tratamientos eficientes con requerimientos mínimos de energía (0,1 kW-h/m³) (Vymazal y Kröpfelová, 2008).

La vegetación que se emplea en estos sistemas es de distintos tipos como se muestra en la Figura 2.3

- Plantas emergentes (*Typha* spp., *Schoenoplectus* spp., *Phragmites* sp., etc.)
- Plantas sumergidas (*Egeriaspp.*, *Elodea* spp., etc.)
- Plantas flotantes (*Eichornia* spp., *Lemna* spp., etc.) (García y Corzo, 2008)

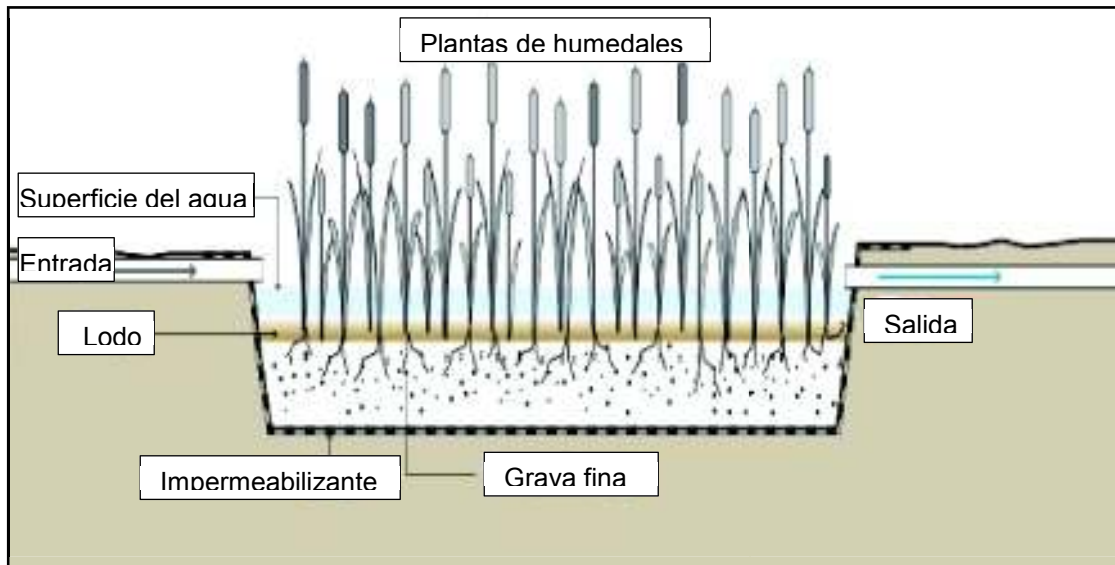
FIGURA 2.3 TIPOS DE VEGETACIÓN ACUÁTICAS USADAS EN HUMEDALES CONSTRUIDOS



FUENTE: Tilley et al., (2008)

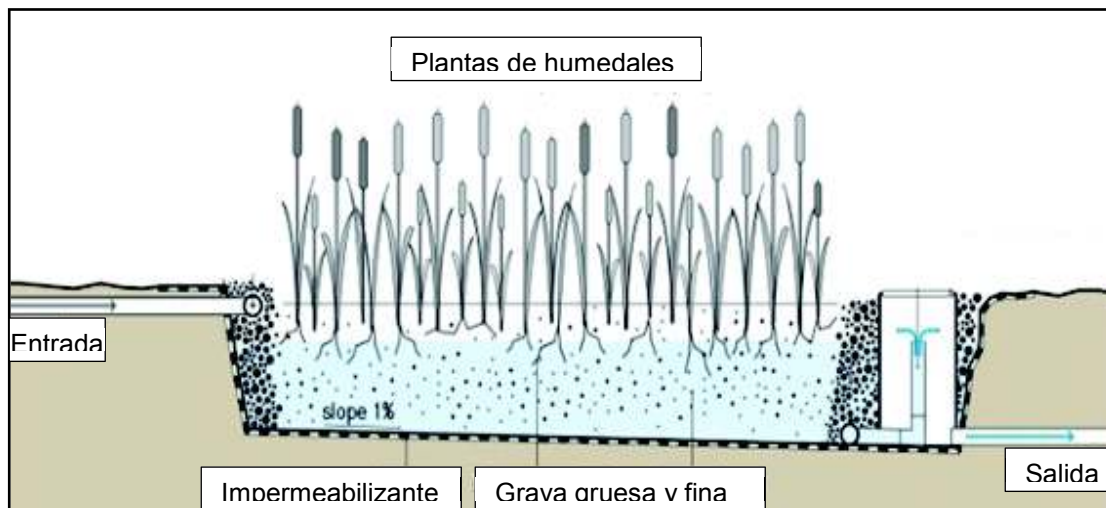
Los humedales construidos se pueden dividir en dos tipos según el régimen de caudal superficial y sub-superficial:

- Los humedales de flujo superficial (HFS) consisten en estanques o canales impermeabilizados con arcilla o geomembranas en el fondo, de poca profundidad, con un perfil de suelo que sirve de soporte a las plantas emergentes (Vymazal, 2005). La depuración, se lleva a cabo en todo el recorrido del agua residual a través de las raíces y tallos de las plantas emergentes, las cuales permiten la formación de la biopelícula microbiana; mientras que, las hojas cumplen una función de sombra a la superficie del agua, limitando la formación de algas (Sánchez, 2011). En la Figura 2.4, se muestra el tipo de humedal de flujo superficial:

FIGURA 2.4 CORTE LOGITUDINAL DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL

FUENTE: Tilley et al. (2008)

- Los humedales de flujo sub-superficial (HFSS) poseen un lecho o cama impermeabilizada con arcilla u otro material sintético (geomembrana). El agua residual fluye entre el material granular filtrante (grava, arena) sirviendo de soporte a la vegetación y permitiendo el paso del agua residual (Rojas, 2012). Generalmente, son de menor tamaño que los HFS (Puigagut et al., 2007). La Figura 2.5 muestra un humedal de flujo sub-superficial.

FIGURA 2.5 CORTE TRANSVERSAL DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

FUENTE: Tilley et al., (2008)

Los humedales que se encuentran en las PTARs, se presentan en Tabla 2.10.

TABLA 2.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS

Nombre	Tipo de Flujo	Número de celdas	Área Total [m ²]	Vegetación
BELLAVISTA	Subsuperficial	3	336	<i>Juncus</i> spp.
INGAPI	Subsuperficial	1	168	<i>Juncus</i> spp.

FUENTE: EPMAPS (2017)

2.2.3.4 Vermifiltración

Es un sistema natural no convencional, que usa el principio del filtro biológico que combina aspectos de filtración convencional y técnicas de vermicompostaje. Esta tecnología contiene bacterias y lombrices asociados, que consumen la materia orgánica, el medio filtrante adsorbe las impurezas orgánicas y contribuye a la filtración y tratamiento del agua residual (Arango, 2003; Kharwade y Khedlkar, 2011).

El sistema conceptualmente está compuesto en la mayoría de casos por 3 capas a distintas profundidades. La primera capa consiste de material de origen orgánico (aserrín, viruta, vermicomposta u otros) (Li et al., 2009; Lakshmi et al., 2014), donde habitan organismos saprófitos (lombrices) y bacterias; es la capa donde se lleva a cabo procesos de biodegradación y consumo de nutrientes (Cardoso et al., 2011; Kumar et al., 2015). En la segunda capa, usualmente compuesta por materiales inorgánicos (arena), que permitan la estabilización y formación de la película microbiana (Li et al., 2009). La tercera capa, está compuesta por agregados de distintos diámetros, proveen de soporte y contribuye a la filtración del agua residual (Cardoso et al., 2011). La PTAR Pinguilla presenta este sistema de tratamiento.

2.2.4 TRATAMIENTO TERCIARIO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES RURALES DEL DMQ

El sistema de desinfección utilizado en las PTARs es a partir de la utilización de Hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)₂). Este producto es una de las formas de cloro que se encuentra en forma sólida, es soluble al entrar en contacto con el agua, es altamente corrosivo (Solsona & Méndez, 2002). La utilización es en forma de

pastillas. Las PTARs que poseen este sistema de desinfección son: Ingapi, Las Tolas, Delicia, Nono y Pinguilla.

2.3 ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN COMPARATIVA DE FUNCIONAMIENTO DE PTARS

2.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

La estadística descriptiva, es un conjunto de técnicas que tiene por objetivo, clasificar, describir, analizar y representar un grupo de datos utilizando métodos numéricos y gráficos que resumen la información de manera útil para el problema estudiado (Alegre y Cladera, 2002). El análisis descriptivo permite simplificar/conglomerar la información sin perder las características esenciales del estudio (Becerra, 2011); estas son de tres tipos: Las medidas de tendencia central dispersión y de forma (Orellana, 2001). Las medidas de tendencia central son: media aritmética, mediana, moda, cuartiles y percentiles (Ballesteros, 2015), las medidas de dispersión son: amplitud, rango intercuartílico, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación (Gras, 2010; Siqueiros, 2004) y finalmente las medidas de forma son: asimetría o sesgo y curtosis (Rojo, 2006).

2.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

Esta herramienta estadística permite determinar algún efecto significativo de los diferentes grupos de la variable independiente X (factor), sobre una o varias variables dependientes Y (Siqueiros, 2004). En general, permite comprobar la estadísticamente si hay diferencias entre dos o más grupos, es decir de un conjunto de muestras aleatorias provienen de una misma población o de distintas poblaciones (Zambrano y Miranda, 2012).

Para la aplicación de análisis de varianza es necesario que se cumplan los siguientes supuestos estadísticos paramétricos: proceder de muestras aleatorias simples, la variable dependiente debe seguir una distribución normal y la homogeneidad de las varianzas, es decir estadísticamente no difieren entre sí (Tenemaza, 2015).

2.3.2.1 Nivel de significancia (α)

Es la máxima cantidad de error que estamos dispuestos aceptar, para concluir como verdadera la hipótesis del investigador, es el límite de la región de rechazo de la hipótesis nula (Zambrano y Miranda, 2012), generalmente se utilizan valores de α de 0,001 a 0,1, para esta investigación se utilizó el valor de 0,05 (Mueses, 2008).

p-value (p): Es la probabilidad de equivocarse al aceptar como verdadera la hipótesis del investigador (Manterola y Pineda, 2008). Este valor, nos brinda una información sobre cuál sería el nivel de significancia más pequeño que nos permitiría rechazar la hipótesis nula. Por lo que la hipótesis nula se rechaza cuando el valor de p asociada a cualquier prueba estadística es menor al valor de significancia (α) establecido por el investigador ($p < \text{nivel de significancia } (\alpha)$) (Mueses, 2008).

2.3.2.2 Hipótesis de Normalidad

Comprobar la normalidad de los datos, puede realizarse a través de coeficientes de asimetría o curtosis. Estos coeficientes determinan la forma de la distribución: pudiendo ser asimétrica negativa o positiva o con un grado de concentración respecto a la región central de la distribución (De la Fuente, 2012). La verificación estadística de la hipótesis de normalidad se efectúa mediante el test de Shapiro Wilk, utilizado en la presente investigación.

2.3.2.2.1 Test de Shapiro Wilk

Es un contraste de ajuste que se utiliza para comprobar si los datos extraídos de una población, provienen de una distribución normal. El test consiste en calcular la estadística de la prueba W suponiendo que la muestra aleatoria proviene de una distribución normal (Ordaz et al., 2012). El estadístico propuesto por Shapiro Wilk está dado por la ecuación 2.1 (Argudo, 2016):

$$W_c = \frac{b^2}{S^2} \quad (2.1)$$

Sea la muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de tamaño n , se procede a los siguientes pasos:

1. Ordenar las observaciones de la muestra de manera creciente: $y_1 < y_2 < \dots < y_n$
2. calcular S^2 con la ecuación 2.2.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2.2)$$

3. Calculo de b :

- a) Si n es par, se calcula mediante la ecuación 2.3.

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (y_{n-i+1} - y_i) \quad (2.3)$$

- b) Si n es impar, se calcula mediante la ecuación 2.4.

$$b = a_n (y_n - y_1) + a_{n-1} (y_{n-1} - y_2) + \dots + a_{k+2} (y_{k+2} - y_k) \quad (2.4)$$

Se rechazara la hipótesis nula de normalidad si p-valor es menor al nivel de significancia dado.

2.3.2.3 Hipótesis de homogeneidad

También conocido como hipótesis de homocedasticidad, considera que la varianza es constante, no varía entre los diferentes grupos (Tenemaza, 2015).

2.3.2.3.1 Prueba F de igualdad de varianzas

La prueba F permite contrastar si 2 muestras presentan igualdad de varianzas (homocedasticidad). La igualdad de varianzas, se relaciona con la longitud de los gráficos de cajas, es decir, la variabilidad de los datos no difieren estadísticamente, si son de distintos tamaños (en magnitud), no existe homogeneidad de las muestras (Siqueiros, 2004). Por lo que, se rechazara la hipótesis nula de homogeneidad si p-valor es menor al nivel de significancia dado. El test F estudia el cociente de las varianzas, en caso que sean iguales toma el valor de 1, y está dado por la ecuación 2.5 (Argudo, 2016):

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (2.5)$$

Sin embargo, no siempre los datos que se obtienen, provienen de una distribución normal, o cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas, por ende para contrastar dichas hipótesis se realiza con otro tipo de pruebas recurriendo a la estadística no paramétrica. El parámetro que se utiliza para hacer las pruebas estadísticas es la mediana (Ordaz et al., 2012).

2.3.2.4 Test no paramétrico de Kruskal-Wallis

El test de Kruskal-Wallis también conocido como test H, emplea rangos para contrastar la hipótesis de k muestras independientes proceden de una misma población o poblaciones idénticas con la misma mediana y considera (Argudo, 2016):

H_0 : Todas las muestras provienen de poblaciones idénticas (hipótesis nula)

H_a : Al menos una de las muestras proviene de una población con distribución distinta (hipótesis alternativa).

Se considera k muestras aleatorias cada una de con n observaciones, si se ordenan las observaciones de menor a mayor, se asigna rangos al conjunto de n observaciones, después se suma los rangos de cada grupo (R_i), si el valor R_i de los grupos son parecidos se cumple con la hipótesis nula. Partiendo de esta idea se calcula el estadístico H con la ecuación 2.6 (Amat, 2014):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (2.6)$$

k : número de grupos

N : número total de datos

n_i : número de datos en el grupo i

Por lo que la hipótesis nula se rechaza cuando el valor de p es menor al valor de nivel de significancia (α) establecido por el investigador ($p < \text{nivel de significancia } (\alpha)$).

2.4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

2.4.1 DEFINICIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Según la Comisión Mundial Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, el informe de Brundtland define a desarrollo sustentable “como la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer los recursos y permitan el desarrollo y puedan satisfacer las necesidades de las generaciones futuras” (CMMAD, 1987).

En Ecuador, la ley de gestión ambiental define desarrollo sustentable como “el mejoramiento de la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implica la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones” (MAE, 2004, p12).

2.4.2 DEFINICIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Los Indicadores de Sustentabilidad (IS) intentan mostrar las dinámicas económicas, ambientales y sociales y sus interrelaciones (Barrantes, 2006). Los IS son una herramienta cuantitativa que analiza cambios y se constituye en un instrumento de gestión de los recursos económicos, sociales, institucionales y ambientales relacionados a un problema o condición (Olsson et al., 2004; Azar et al., 1996). La importancia de los indicadores radica en que las funciones que tienen son simplificar, cuantificar y ordenar la información para comunicar de manera sencilla los cambios en el estado de los recursos naturales (Palme et al., 2005; Balkema et al., 2002; Lundin et al., 1999).

2.4.2.1 Características de los indicadores de sustentabilidad

El objetivo de los indicadores es de guiar la acción, estos deben tener las siguientes características descritas por Barrantes (2006):

- Representar un fenómeno más complejo
- Ser comparables con un valor de referencia
- Debe ser sensibles a cambios de tiempo y espacio

- Deben ser predictivos
- Reflejar el modo que la sociedad utiliza los recursos
- Identificar las características económicas importantes
- Fáciles de recolectar y emplear
- Deben identificar los elementos propios del ambiente
- Ser útiles en las tomas de decisiones

2.4.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD APLICABLES A PTARS

Existen algunas iniciativas previas de aplicación de los IS al sector sanitario. En Portugal los IS han permitido evidenciar el deficiente funcionamiento de los sistemas de tratamientos de aguas residuales actuales y determinar la gestión sostenible de las aguas residuales para pequeñas poblaciones rurales. Además, fomentó alternativas ajustadas a la problemática de este sector. Los resultados de los indicadores de sustentabilidad comparando entre sistemas convencionales y no convencionales mostraron en este estudio, que los no convencionales presentan un menor consumo de energía (10,1 frente a 46,5 kW-h/hab.año de los convencionales), pero reflejan una mayor área de terreno para la instalación de los sistemas no convencionales (8,9 frente a 3,5 m²/hab de los convencionales) (Fábregas, 2006). En el contexto del desarrollo sustentable a escala local, esta investigación presenta a continuación un listado de indicadores aplicables a PTARs orientados al sector rural del DMQ, establecidos inicialmente por bibliografía y tomados del trabajo de investigación de Anna Fábregas (2006), permitiendo evaluar las PTARs ajustadas a la realidad local.

2.4.3.1 Indicadores Ambientales

Son variables que describen, analizan y presentan información sustentada de forma simplificada, los cambios en el ambiente e introducir coherentemente en el proceso de toma de decisiones (Fernández, 2006; Quiroga, 2009). Estos indicadores tratan de reflejar las presiones ambientales, considerando los flujos de la línea del agua y línea de lodos (CEPAL, 2001):

- Uso y consumo de recursos (energía eléctrica e insumos químicos)

- Proveniente de la operación, mantenimiento y residuos generados (calidad del agua residual tratada, lodos producidos).

Los indicadores ambientales aplicables a PTARs son los siguientes:

- **Energía consumida por la PTARs por habitante al año (kW-h/hab.año):** este indicador tiene como finalidad transmitir la cantidad de energía eléctrica consumida por la PTARs para su funcionamiento por habitante servido.
- **Productos químicos consumidos en la PTARs por habitante al año (kg/hab.año):** este indicador se pretende determinar la cantidad de productos químicos por la PTARs en su tratamiento.
- **Área total ocupada por la PTAR por habitante (m²/hab):** este indicador pretende transmitir el área necesaria de la PTARs por habitante servido.
- **Cantidad de lodos producido por habitante al año (m³/hab.año):** el indicador tiene la finalidad de determinar la cantidad de lodos generados como resultado del tratamiento de las PTARs.
- **Calidad del agua residual tratada según Anexo 1 TULSMA, Tabla 12, en términos de número de resultados en el año que cumplen la normativa respecto al número total de resultados (%):** este indicador tiene como finalidad constatar la eficiencia de las PTARs.

2.4.3.2 Indicadores económicos

Estos indicadores pretenden cuantificar tantos los costos de inversión, de operación y de mantenimiento y son los siguientes:

- **Costo de inversión de la PTAR por habitante (USD/hab):** este indicador permite determinar el costo total de la instalación de la PTARs.
- **Costo de operación y mantenimiento por habitante al año (USD/hab.año):** este indicador pretende reflejar los costos de salarios a los operadores, consumo de energía y productos químicos, transporte y reparación de los equipos necesarios para garantizar un buen funcionamiento de la PTARs.

2.4.3.3 Indicadores sociales

Estos indicadores se encuentran asociados al componente social del desarrollo sustentable y permiten satisfacer las necesidades de bienestar de la población que habilitan alrededor de las PTARs.

- **Porcentaje de población servida respecto a la población total (%)**: brindar servicios que posibiliten mejorar la calidad de vida de la comunidad.
- **Densidad poblacional (hab/km²)**: Entre la población se encuentre más concentrada es más factible que se construya un sistema de alcantarillado, caso contrario si la densidad es baja (menor 15 hab/km²) es necesario sistemas de tratamiento individuales (CEPAL, 2001).

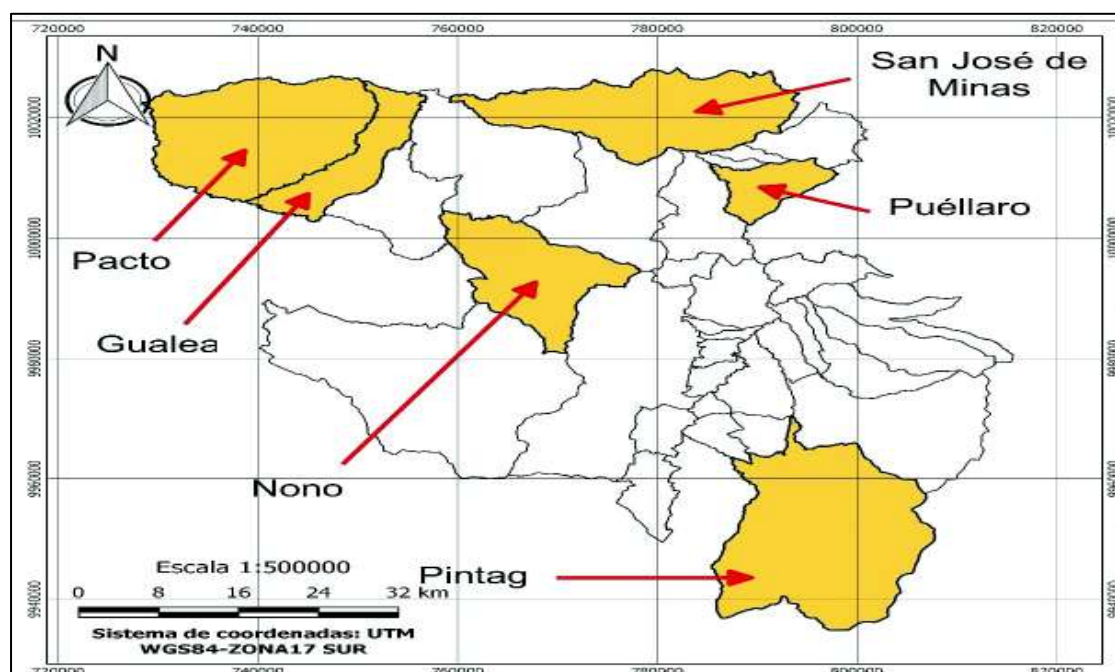
CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las PTARs objeto de este estudio, se encuentran ubicadas en varios sectores periurbanos del DMQ. La Figura 3.1 muestra la localización de las parroquias donde se sitúan las PTARs que operan en el año 2016.

FIGURA 3.1 LOCALIZACIÓN DE LAS PARROQUIAS PERIURBANAS DEL DMQ, 2016



FUENTE: IGM (2016)

ELABORACIÓN: Javier García

3.1.1 PARROQUIA DE PACTO

La parroquia de Pacto se encuentra ubicada a 115 km al extremo occidente del DMQ. Esta parroquia limita al Norte con la parroquia García Moreno, provincia de Imbabura, al Sur con el cantón San Miguel de los Bancos, al Este con la parroquia

Gualea y al Oeste con el cantón Pedro Vicente Maldonado. Además, dispone de una superficie de 346,14 km² y su densidad poblacional alcanza los 271,64 hab/km² (GPP, 2012). En esta parroquia se encuentran 3 PTARs, distribuidas en los barrios de Ingapi y la Delicia.

La contaminación de los cuerpos hídricos con vertidos líquidos y sólidos, en especial de las aguas residuales procedentes de las comunidades asentadas en las riberas de los ríos, (completar idea) debido a que no poseen un óptimo sistema de alcantarillado (27,7% de cobertura), estas comunidades descargan sus aguas residuales sin ningún tratamiento. Sin embargo, la actividad minera aurífera que se realiza en esta parroquia, es la principal fuente de contaminación, debido a que los residuos de mercurio se dirigen directamente a los cursos de los ríos, sin que se tenga un tratamiento previo a la descarga (GPP, 2012).

La localización de las PTARs, así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.1 y la Figura 3.2, respectivamente.

TABLA 3.1 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA PACTO, 2016

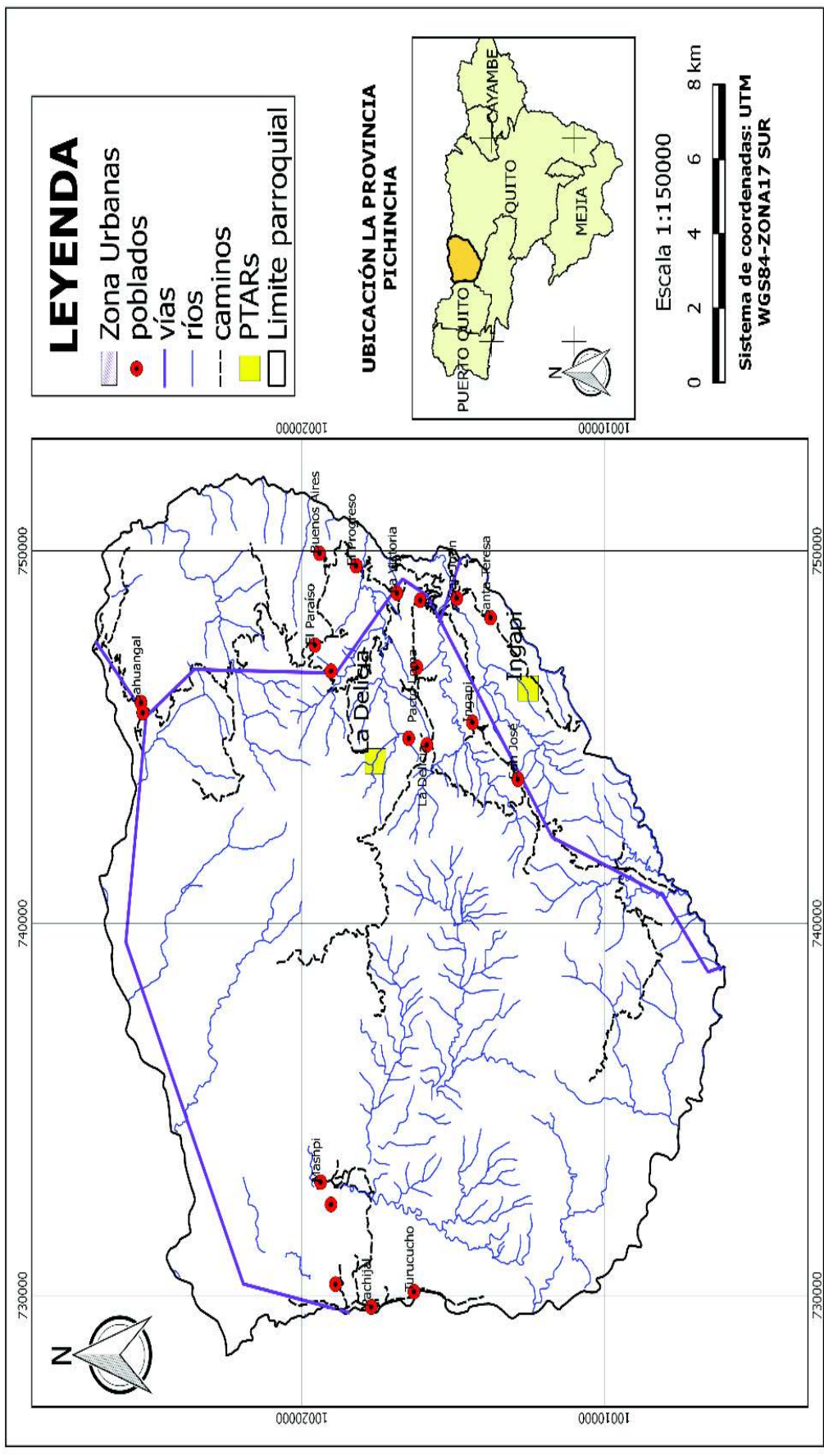
Nombre	Unidades	Área total (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección*
INGAPI	Pretratamiento + fosa séptica+ filtro anaerobio + humedal artificial + desinfección	600	488	1,58	Si*
LA DELICIA	Pretratamiento + tanque de sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + cloración	300	360	1,04	Si

*El producto utilizado en la desinfección es el hipoclorito de calcio Ca(ClO)₂

FUENTE: EPMAPS (2017)

Elaboración: Javier García

FIGURA 3.2 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PACTO, 2016



FUENTE: IGM (2016)

ELABORACIÓN: Javier García

3.1.2 PARROQUIA DE GUALEA

La parroquia de Gualea, perteneciente al cantón Quito, está ubicada en el Noroccidente de Pichincha a 78 km de la ciudad de Quito. Esta parroquia fue creada el 29 de mayo de 1861. Limita al Norte con la provincia de Imbabura, al Sur con el cantón San Miguel de los Bancos, al Este con las parroquias Nanegal y Nanegalito y con los ríos Tulipe y Alambi, al Oeste limita con la parroquia Pacto. La parroquia tiene una superficie de 120,97 km² y su densidad poblacional asciende a los 16 hab/km² (GPG, 2012). En esta parroquia, se encuentran 3 PTARs, distribuidas en los barrios de Bellavista, Gualea Cruz y las Tolas.

En esta parroquia, se identifican problemas de contaminación en las quebradas y ríos. En los barrios Urcutambo y el Porvenir se recogen las aguas residuales en el sistema de alcantarillado, pero se depositan en quebradas y ríos, ya que no existen sistemas de tratamiento. Además, por la expansión de la actividad ganadera y pecuaria, los desechos orgánicos se descargan directamente en los ríos (rio Chirapi). Actualmente, los barrios de Bellavista, Gualea Cruz y Las Tolas cuentan con un sistema completo de tratamiento de aguas residuales (GPG, 2012). La localización de las PTARs así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.2 y la Figura 3.3, respectivamente.

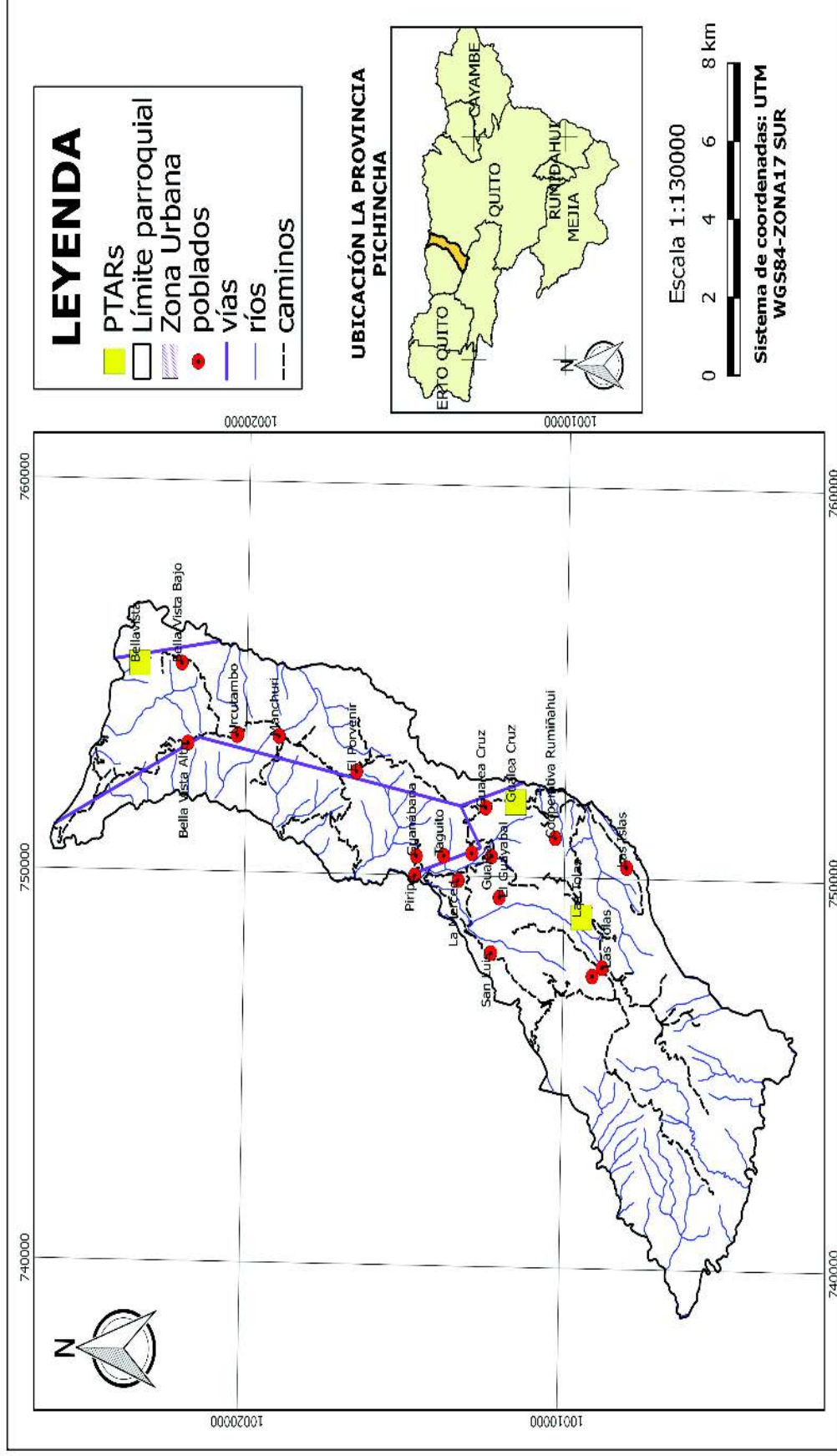
TABLA 3.2 INFORMACION DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA GUALEA, 2016

Nombre	Unidades	Área total (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección*
GUALEA CRUZ	Pretratamiento + Fosa séptica + Filtro anaerobio	150	156	0,45	No
LAS TOLAS	Pretratamiento + tanque de sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + cloración	250	227	0,64	Si
BELLAVISTA	Pretratamiento + tanque Imhoff+ filtro anaerobio+ humedal artificial	600	154	0,29	No

* El producto utilizado en la desinfección es el hipoclorito de calcio Ca(ClO)₂

FUENTE: EPAMPS (2017). Elaboración: Javier García

FIGURA 3.3 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE GUALEA, 2016



FUENTE: IGM (2016)

ELABORACIÓN: Javier García

3.1.3 PARROQUIA DE PUÉLLARO

Puéllaro es una parroquia rural, ubicada a 70 km al noreste de la ciudad de Quito, esta es una zona volcánica debido a las erupciones del Pululahua y Mojanda. Esta parroquia, es parte de la promoción turística conocida como la “Ruta Escondida”, que se caracteriza por ser una zona agrícola, ganadera y florícola, presencia de bosques nativos remanentes e importancia como patrimonio cultural. Limita al Norte con las parroquias de Perrucho, Atahualpa y Chavezpamba, al Sur con el cantón Pedro Moncayo, al Este con el cantón Pedro Moncayo y al Oeste con la parroquia de San Antonio de Pichincha. Esta parroquia tiene una superficie de 59,23 km² y su densidad poblacional es de 92,66 hab/km² (GPPuéllaro, 2012). En esta parroquia se encuentran 3 PTARs, distribuidas en los barrios de Aloguincho, San Luis de Aloguincho y Pinguilla.

Solo el centro urbano de la parroquia posee un sistema de alcantarillado adecuado (90% de cobertura), por lo que aguas negras y grises provenientes de las actividades productivas se descargan directamente a cuerpos de agua (Quebrada Túquerez). Por su parte, el barrio Pinguilla dispone de un 60% de cobertura del sistema de alcantarillado, Aloguincho y San Luis de Aloguincho del 50% de cobertura (GPPuéllaro, 2012). La localización de las PTARs así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.3 y en la Figura 3.4, respectivamente.

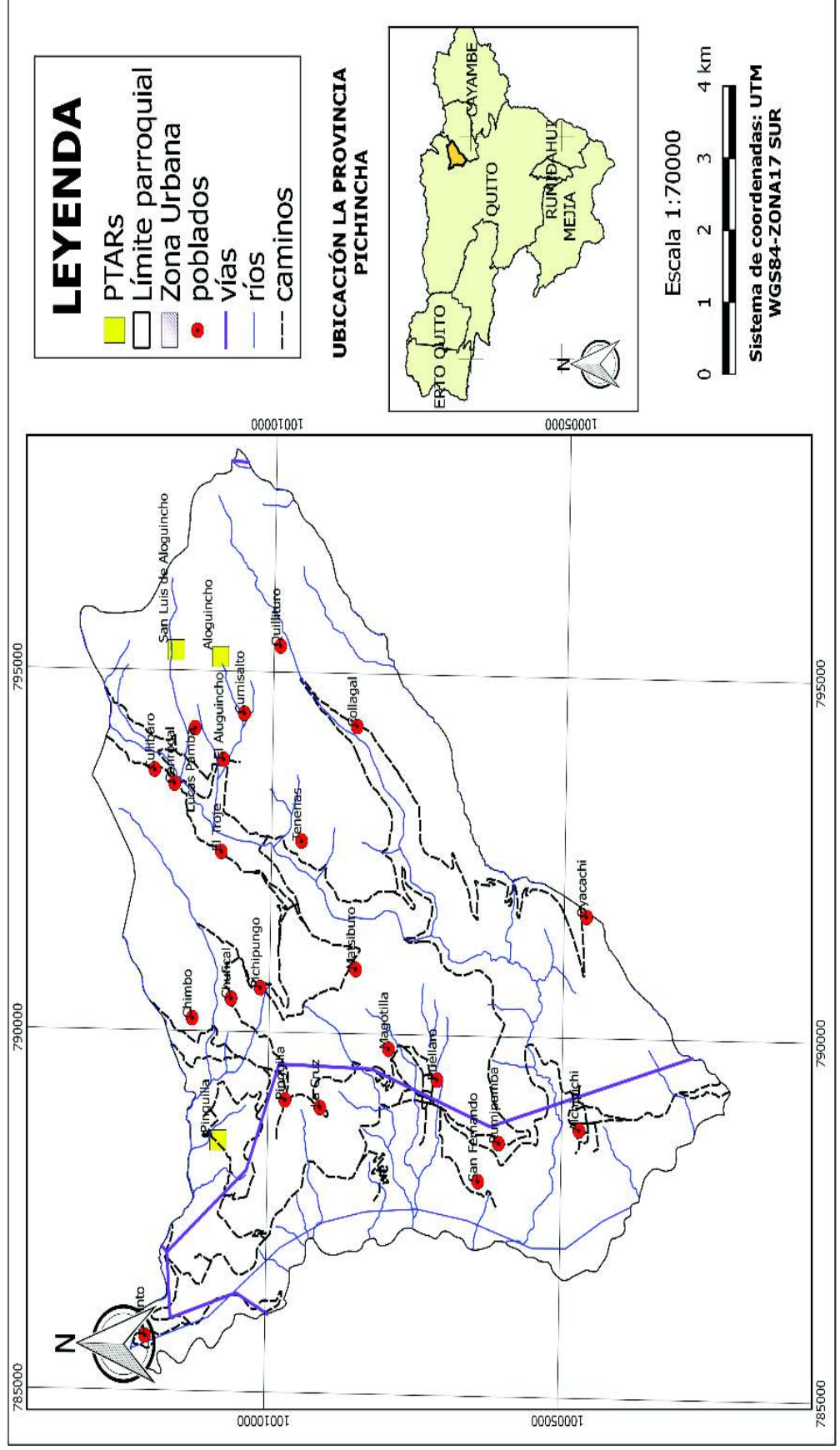
TABLA 3.3 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA PUÉLLARO, 2016

Nombre	Unidades	Área total (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección*
ALONGUINCHO	Fosa séptica	75	322	1,01	No
SAN LUIS DE ALONGUINCHO		150	410	0,34	No
PINGUILLA	Pretratamiento +vermifiltración + desinfección	250	281	1,72	Si*

*: El producto utilizado en la desinfección es el hipoclorito de calcio Ca(ClO)₂

FUENTE: EPMAPS (2017) Elaboración: Javier García

FIGURA 3.4 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PUÉLLARO, 2016



FUENTE: IGM (2016)
ELABORACIÓN: Javier García

3.1.4 PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE MINAS

La parroquia de San José de Minas, se localiza aproximadamente a 80 km al noroeste de la ciudad de Quito, se encuentra en la depresión entre el nudo de Mojanda y las estribaciones del Cotacachi y Guayllabamba. La fecha de creación de la parroquia fue el 14 de septiembre de 1870. Esta parroquia se caracteriza por ser una zona agrícola y ganadera, desarrollando en los últimos años actividades de agroindustria y exportación especialmente en la industria florícola. Además, expende leche y sus habitantes se dedican a la producción de queso. Limita al Norte con la provincia de Imbabura, al Sur con las parroquias de Calacalí, San Antonio de Pichincha y Perucho, al Este con la parroquia Atahualpa y al Oeste con la parroquia Nanegal. Tiene una superficie de 203,78 km² y su densidad poblacional alcanza los 42,69 hab/km² (GPSJM, 2012). En esta parroquia se encuentra 1 PTARs, ubicada en el barrio La Calera.

En esta zona, se produce contaminación de los cursos hídricos (ríos y quebradas), por descargas directas de aguas residuales y domésticas. En la cabecera parroquial, el área urbana, posee un 100% de cobertura de sistema de tratamiento, pero solo el 44% de la parroquia cuenta con servicio de alcantarillado; mientras, que el 13% eliminan sus aguas servidas por medio de pozos sépticos y tan solo el 4% de la población eliminan por medio de letrinas. Conllevando al deterioro de los cuerpos de agua y la calidad de vida de la población. La localización de la PTAR así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.4 y la Figura 3.5, respectivamente.

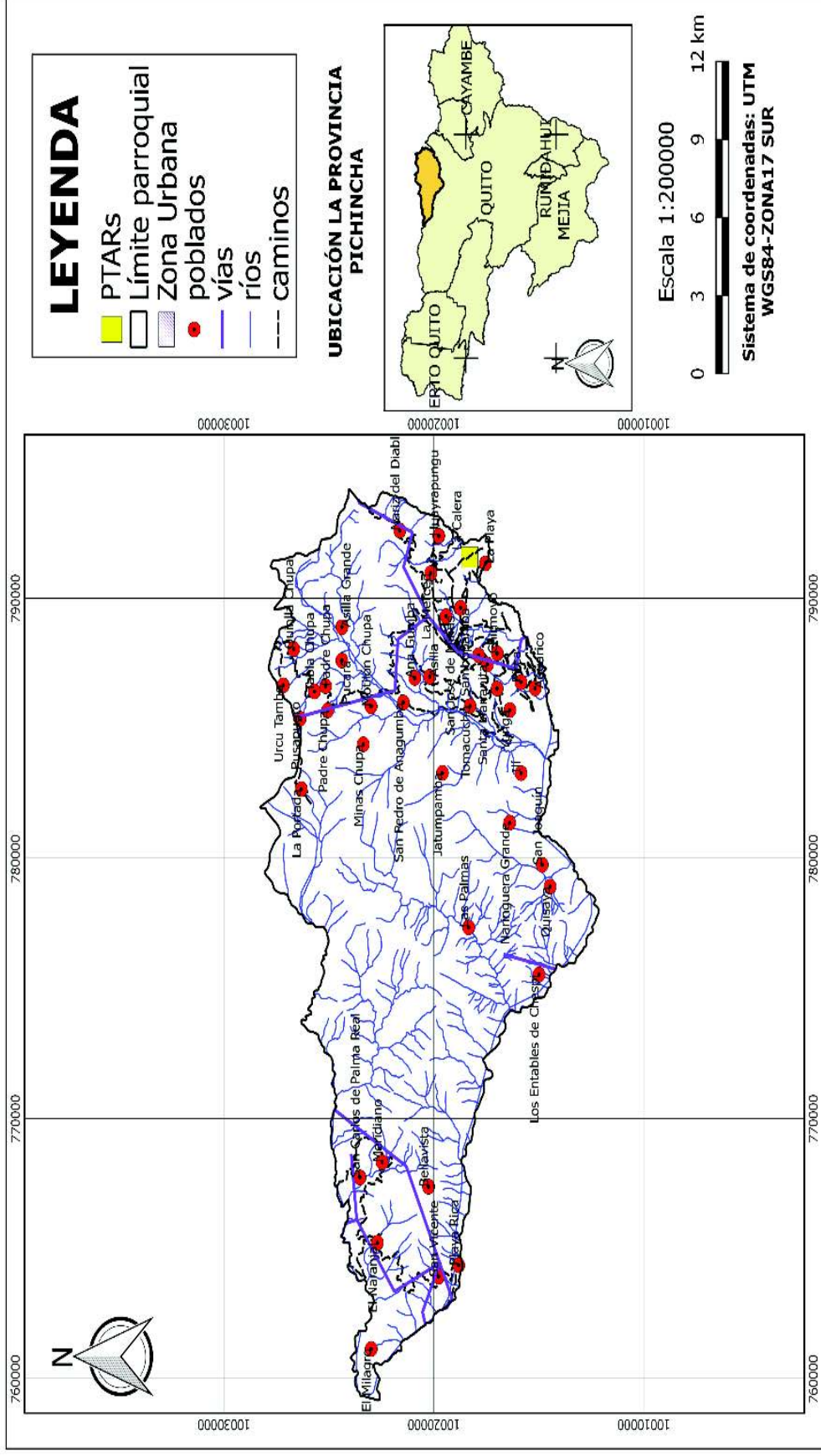
TABLA 3.4 INFORMACIÓN DE LA PTAR DE LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE MINAS, 2016

Nombre	Unidades	Área (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección
LA CALERA	Fosa séptica + filtro anaerobio	150	133	0,84	No

FUENTE: EPMAPS (2017)

Elaboración: Javier García

FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE SAN JOSÉ DE MINAS, 2016



FUENTE: IGM (2016)

ELABORACIÓN: Javier García

3.1.5 PARROQUIA DE NONO

La parroquia de San Miguel de Nono está ubicada a 18 km de la ciudad de Quito, en las faldas del volcán Pichincha. Limita al Norte con la parroquia de Calacalí y Nanegal, al Sur con la parroquia Lloa y Mindo, al Este con la parroquia Cotocollao y al Oeste con las parroquias Nanegalito y Mindo. Nono se constituyó como parroquia en el año 1720. La actividad agropecuaria es la principal actividad de la zona, la mayoría de las superficies cultivables son destinadas para la alimentación del ganado bobino y producción de leche. Tiene una superficie de 207,6 km² y su densidad poblacional alcanza los 8 hab/km² (GPN, 2012). En esta parroquia se encuentra 1 PTARs, ubicada en el barrio Nono.

El 52% de los hogares de la parroquia de Nono eliminan las aguas residuales a través de pozos sépticos, el 17% de las viviendas está conectada a una red de alcantarillado; mientras que el 26% no dispone de tratamiento y disposición, por lo que se descargan directamente a ríos y quebradas, causando problemas sanitarios serios, debido a que no existe un adecuado sistema de tratamiento de aguas servidas (GPN, 2012). La localización de la PTAR así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.5 y la Figura 3.6, respectivamente.

TABLA 3.5 INFORMACIÓN DE LA PTAR DE LA PARROQUIA DE NONO, 2016

Nombre	Unidades	Área total (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección*
NONO	Pretratamiento + sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + cloración	300	663	2	Si*

* El producto utilizado en la desinfección es el hipoclorito de calcio Ca(ClO)₂

FUENTE: EPMAPS (2017)

Elaboración: Javier García

3.1.6 PARROQUIA DE PINTAG

La parroquia de Pintag está ubicada en el suroriente de la provincia de Pichincha del DMQ, la misma que fue creada en 1861 como parroquia rural. Al Norte limita con las parroquias de Tumbaco, La Merced, Alangasí y Pifo, al Sur con el cantón Mejía, al Este con la provincia del Napo y al Oeste con el cantón Mejía y Rumiñahui. Su principal actividad económica es la actividad agrícola, en menor escala existe explotación de material pétreo. Tiene una superficie de 490,14 km² y su densidad poblacional alcanza los 36,58 hab/km² (GPPintag, 2012). En esta parroquia se encuentran 3 PTARs, distribuidas en los barrios de Chachil, Yurac, San Isidro de Pintag y Ubillus.

Actualmente, el 63,5% de la parroquia cuenta con una red de alcantarillado; mientras, el 28% de la población posee un sistema de pozos sépticos y el 1,54% realiza sus descargas directamente a los ríos o quebradas de la zona (GPPintag, 2012). La localización de las PTARs así como la información sintetizada se encuentran en la Tabla 3.6 y la Figura 3.7 respectivamente.

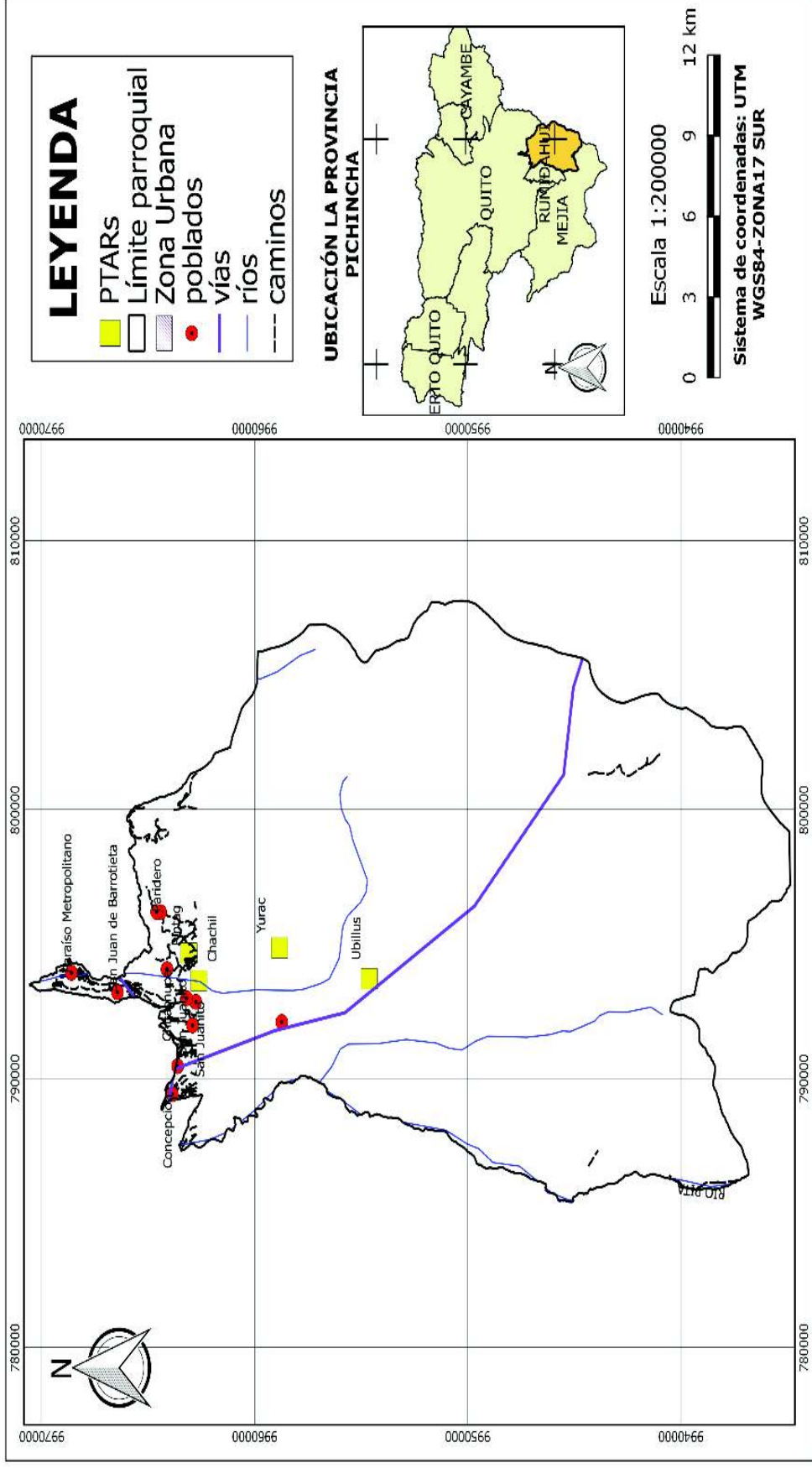
TABLA 3.6 INFORMACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PINTAG, 2016

Nombre	Unidades	Área total (m ²)	Población (hab)	Caudal de diseño promedio (L/s)	Desinfección
YURAC	Fosa séptica	100	276	0,88	No
CHACHIL	Tanque Imhoff	100	330	0,8	No
PINTAG	Tanque Imhoff + filtro anaerobio	100	146	1,47	No
UBILLUS	Cribado + fosa séptica + filtro anaerobio	200	190	0,9	No

FUENTE: EPMAPS (2017)

Elaboración: Javier García

FIGURA 3.7 UBICACIÓN DE LAS PTARS DE LA PARROQUIA DE PINTAG, 2016



FUENTE: IGM (2016)

ELABORACIÓN: Javier García

3.2 RECOPIACIÓN Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN DE LAS PTARS

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) cuenta con el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales, que en parte se encarga de la operación y mantenimiento de las PTARs del DMQ. La información fue suministrada, la cual se encuentra en forma digital e impresa (registros de operación). Información que fue verificada en campo, mediante visitas programadas a cada una de las PTARs. Las visitas guiadas por personal de la EPMAPS permitieron además completar información faltante en los registros de la empresa y fueron de interés para este estudio (áreas de las unidades de tratamiento, identificación del cuerpo receptor del agua residual tratada, cantidad y tipo de insumos químicos, cantidad de residuos y lodos generados).

La ubicación de las PTARs: Información geográfica mediante las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), con Datum WGS84, zona 17 Sur.

Información operativa: se recolectó en las visitas y base de datos de la EPMAPS y se obtuvo la siguiente información: caudales mensuales promedios, descripción de los números de unidades de tratamiento, tecnologías instaladas, área de cada unidad (m^2), cantidad de residuos generados (residuos de comida, baño, etc.) en m^3 /mes, volumen de lodos generados en m^3 /mes y parámetros de campo como pH, temperatura y conductividad en cada una de las PTARs (Anexo N° 2 y 3).

La información de calidad de aguas residuales de las PTARs: se obtuvo de reportes de parámetros físico-químicos, a nivel mensual mediante un archivo Excel.

Información de operadores: se obtuvo información sobre el número de operadores y los turnos que laboran en cada una de las PTARs, técnicos que dan soporte y personal administrativo que está a cargo del departamento, además se consultó al personal a cargo, sobre las remuneraciones mensuales que perciben.

En paralelo, se obtuvo información cartográfica de libre acceso por medio del geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM), del cual se obtuvo capas vectoriales, y en conjunto con el software libre Quantum Gis se procesó esta

información obteniendo mapas de localización de las PTARs, descritas en el capítulo 3.1.

3.2.1 INFORMACIÓN FÍSICA

Insumos químicos: cantidad utilizada para la desinfección (tratamiento terciario) de las aguas residuales. Esta información se recolectó mediante los registros operacionales obtenidos en campo.

Energía Eléctrica: consumo de energía eléctrica de cada PTARs para la operación; esta información se recolectó de registros operacionales en campo.

Diseño de las unidades de tratamiento: información a partir de las memorias técnicas o planos de cada una las PTARs, de donde se obtuvo el detalle del dimensionamiento, el tipo de tecnología que poseen y el área total ocupada por el sistema de tratamiento. Cabe señalar, que se realizó visitas de campo a las PTARs para obtener un registro fotográfico (cronograma de visitas) y generación de información preliminar (fichas (Anexo N° 1)), las cuales constituyen la base de datos de este trabajo.

3.2.2 MANEJO DE LA INFORMACIÓN

3.2.2.1 Población diseño para cada PTARs

En la Tabla 3.7, se encuentra la población del 2010 de cada uno de los barrios donde están ubicadas las PTARs, información obtenida del censo del 2010 (INEC, 2010). Para el cálculo de la población futura (2016), se utilizó el método geométrico, a partir de cual se tomó, los datos poblacionales que sirvieron de base para el cálculo de los IS relacionados a esta variable. A nivel barrial se obtuvo información demográfica del censo del 2010. Para determinar la tasa de crecimiento de los barrios rurales, se consideró el índice de crecimiento a nivel parroquial, debido a que no se posee datos a nivel barrial en anteriores censos (1990 y 2001).

3.2.2.2 Determinación de la población futura

3.2.2.2.1 Método Geométrico

Para el cálculo de la población futura, este método supuso un aumento proporcional de la población actual con una tasa de crecimiento constante (r). La siguiente expresión (ecuación 2.7) permite el cálculo de la población futura:

$$Pf = Po \times (1 + r)^t \quad (2.7)$$

Teniendo:

Pf	= Población futura
P _o	= Población actual
r	= Tasa de crecimiento
t	= Número de años

La Tabla 3.7 se muestra las tasas de crecimiento actual por parroquias, población del 2010 y la población futura para el año 2016.

TABLA 3.7 POBLACIÓN FUTURA DE BARRIOS RURALES DEL DMQ, 2016

Parroquia	Nombre del Barrio	Tasa de crecimiento (%)	Población año 2010 (hab)	Población año 2016 (hab)
GUALEA	GUALEA CRUZ		144	156
	LAS TOLAS	1,65	223	227
	BELLAVISTA		147	154
NONO	NONO	1,05	649	663
PACTO	INGAPI	-6	552	448
	LA DELICIA		490	360
PINTAG	YURAC		239	276
	CHACHIL	2,4	286	330
	PINTAG		127	146
	UBILLUS		165	190
PUÉLLARO	ALONGUINCHO		320	322
	SAN LUIS DE ALONGUINCHO	0,1	408	410
	PINGUILLA		280	281
SAN JOSÉ DE MINAS	LA CALERA	2	125	133

FUENTE: INEC (2010), GPG (2012), GPN (2012), GPP(2012) GPPintag, (2012), GPPuéllaro (2012), GPSJM (2012).

3.2.3 INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los reportes de calidad de las aguas residuales para cada PTARs están clasificados por meses. Los resultados reportados corresponden al análisis del

afluente y efluente de la Plantas. Cabe señalar, que para algunas PTARs no existe información sobre los resultados de la calidad de uno o varios meses, por lo que el análisis se realizó solo con la información reportada. La Tabla 3.8 resume los parámetros de la calidad de las aguas residuales.

TABLA 3.8 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES

Parámetros	
Sólidos	Sólidos Totales (ST)
	Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)
Materia orgánica	Demanda Química de Oxígeno (DQO)
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)
Nutrientes	Nitrógeno Total (NT)
	Nitratos (NO ₃ ⁻)
	Nitrógeno de Amoniac (NH ₄ ⁺)
	Fósforo Total (PT)

ELABORACIÓN: Javier García

3.2.4 ESCENARIOS DE TRATAMIENTO DE LAS PTARS

Dentro del diseño de las unidades de tratamiento de cada una de las PTARs, se identificó la existencia de distintas tecnologías de tratamiento enfocadas a una o varias etapas del tratamiento, por lo tanto el criterio de agrupación de las PTARS, se basó en el nivel de tratamiento (etapa de tratamiento) o “escenario de tratamiento” identificado como E. Dentro de este trabajo, se identificaron 4 escenarios: E-I, E-II, E-III, E-IV. Este criterio consideró la función que cumple cada tecnología dentro de todo el proceso de tratamiento. En la Tabla 3.9, se resume los 4 escenarios de tratamiento mencionados. Para facilidad y comprensión del presente trabajo, se acordó utilizar la simbología “Pij E-k” para identificar a cada PTAR respecto a su escenario asociado, donde i representa a la tecnología(s), j se refiere al número de plantas con la tecnología “i” y k hace relación en números romanos al escenario (etapa/s de tratamiento) en el que se agrupa dicha PTAR

TABLA 3.9 CLASIFICACIÓN DE LAS PTARS POR ESCENARIOS DE TRATAMIENTO

ESCENARIO	ETAPA	PTARs	ID.	NOMBRE	UNIDADES DE TRATAMIENTO	PARROQUIA
E-I	P	P ₁₁	P ₁₁ E-I	YURAC	Fosa séptica	PINTAG
		P ₂₁	P ₂₁ E-I	CHACHIL	Tanque Imhoff	
		P ₁₂	P ₁₂ E-I	ALONGUINCHO	Fosa séptica	PUÉLLARO
		P ₁₃	P ₁₃ E-I	SAN LUIS DE ALONGUINCHO	Fosa séptica	
E-II	P + S	P ₁₁	P ₁₁ E-II	PINTAG	Tanque Imhoff + filtro anaerobio	PINTAG
		P ₂₁	P ₂₁ E-II	LA CALERA	Fosa séptica + filtro anaerobio	SAN JOSE DE MINAS
E-III	PRET+P+S	P ₁₁	P ₁₁ E-III	UBILLUS	Cribado + fosa séptica + filtro anaerobio	PINTAG
		P ₂₁	P ₂₁ E-III	GUALEA CRUZ	Cribado + desarenador + fosa séptica + filtro anaerobio	GUALEA
E-IV	PRET+P+S+T	P ₁₁	P ₁₁ E-IV	BELLAVISTA	Cribado + desarenador + tanque Imhoff + filtro anaerobio + humedal construido	GUALEA
		P ₂₁	P ₂₁ E-IV	PINGUILLA	Cribado + desarenador + vermifiltración + desinfección	PUÉLLARO
		P ₃₁	P ₃₁ E-IV	LAS TOLAS	Cribado + desarenador + sedimentador + sistema biológico + desinfección	GUALEA
		P ₁₂	P ₁₂ E-IV	INGAPI	Cribado + fosa séptica + humedal construido + desinfección	PACTO
		P ₃₂	P ₃₂ E-IV	LA DELICIA	Cribado + desarenador + sedimentador + sistema biológico + desinfección	NONO
		P ₃₃	P ₃₃ E-IV	NONO	Cribado + desarenador + sedimentador + sistema biológico + desinfección	

*Etapa del tratamiento: PRET = pretratamiento, P = primario, S = secundario, T = terciario

FUENTE: EPMAPS (2017) ELABORACIÓN: Javier García

3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR DE LAS PTARS

Una vez recopilada y organizada la información, se procedió a realizar el estudio de la misma, que inició con un análisis estadístico de tipo descriptivo de 2160 datos. Posteriormente, con la finalidad de establecer comparación entre las PTAR se utilizó análisis de varianza, y finalmente la generación de IS con criterios sociales, ambientales y económicos. Esta información permitiría evaluar en forma comparativa, no sólo el comportamiento operacional de las PTARS, sino además su rendimiento bajo conceptos de sustentabilidad.

3.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

Para el análisis de la información, se utilizó estadística descriptiva de 2160 datos de variables fisicoquímicas (ST, SSV, DQO, DBO₅, NT, NO₃⁻, NH₄⁺ y PT) provistas por la EPMAPS de cada una de las PTARs objeto de estudio, determinando media, mediana, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación. Los valores descritos fueron representados en gráficos de caja.

3.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

El objetivo de este análisis fue examinar si el porcentaje de carga eliminada de cada uno de los parámetros fisicoquímicos originó resultados estadísticamente iguales o si son estadísticamente diferentes entre las PTARs de cada una de los escenarios de tratamiento. En este caso se consideró la aplicación de pruebas de Shapiro Will para evaluar la normalidad de los datos, test de homogeneidad de varianzas y finalmente la prueba de Kruskal Wallis, prueba no paramétrica que evalúa si existen entre las PTARs y entre escenarios resultados estadísticamente diferentes, con un nivel de significancia de 0,05; se utilizó el software Infostat que facilita el análisis de los datos.

Para ello se determinó, 2 factores (PTARs, escenarios (Tipos de tratamientos)) y 8 variables relacionadas con los porcentajes de eliminación de: Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles, Demanda Química/Bioquímica de Oxígeno,

Nitrógeno Total, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal y Fósforo Total. En la Tabla 3.10 se resumen estos criterios.

TABLA 3.10 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES Y VARIABLES DEL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL

FACTORES	VARIABLES	
PTARs por escenarios (14)	Porcentajes de eliminación de sólidos (Eficiencia)	Sólidos totales (ST) Sólidos suspendidos Volátiles (SSV)
	Porcentajes de eliminación de materia orgánica (Eficiencia)	Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)
Escenarios (tipo de tratamiento)	Porcentajes de eliminación de nutrientes (Eficiencia)	Nitrógeno Total (N)
		Nitratos (NO_3^-) Nitrógeno de Amonio (NH_4^+) Fósforo (P)

ELABORACIÓN: Javier García

Para la presentación de los resultados, se usaron las medianas, con un nivel de significancia (α) del 0,05, con lo que se consideró que estadísticamente hay diferencias ($p < 0,05$).

Para la aplicación del análisis de varianza, se estableció las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias entre las medianas de los valores de porcentaje de carga removida, es decir que no difieren entre las PTARs por cada escenario de tratamiento.

Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias entre las medianas de los valores de porcentaje de carga removida, es decir que difieren entre las PTARs por cada escenario de tratamiento.

3.4 METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

Una vez elaborada la lista de indicadores de sustentabilidad en el capítulo anterior, y detallados todos los sistemas de tratamiento de las PTARs, se describe de forma

detallada la metodología de aplicación de los indicadores de sustentabilidad. Para el análisis se tomó en cuenta:

- Tipo de tecnología
- Población abastecida de las zonas rurales
- Ubicación
- Caudal de tratamiento

En la Tabla 3.11, se encuentra la información general de las PTARs, a las cuales se aplicó los indicadores de sustentabilidad. En este se especifica, ubicación, el tipo de tecnología y la población abastecida del año 2016.

TABLA 3.11 INFORMACIÓN GENERAL DE LAS PTARS

ESCENARIO	ID.	NOMBRE	POBLACIÓN
E-I	P ₁₁ E-I	YURAC	276
	P ₂₁ E-I	CHACHIL	330
	P ₁₂ E-I	ALONGUINCHO	322
	P ₁₃ E-I	SAN LUIS DE ALONGUINCHO	410
E-II	P ₁₁ E-II	PINTAG	146
	P ₂₁ E-II	LA CALERA	133
E-III	P ₁₁ E-III	UBILLUS	190
	P ₂₁ E-III	GUALEA CRUZ	156
E-IV	P ₁₁ E-IV	BELLAVISTA	154
	P ₂₁ E-IV	PINGUILLA	281
	P ₃₁ E-IV	LAS TOLAS	227
	P ₁₂ E-IV	INGAPI	488
	P ₃₂ E-IV	LA DELICIA	360
	P ₃₃ E-IV	NONO	663

FUENTE: EPMAPS (2017), INEC (2016)

ELABORADO POR: Javier García

A continuación, se describe la metodología de aplicación de cada uno de los indicadores de sustentabilidad:

3.4.1 INDICADORES AMBIENTALES

Energía consumida por la PTARs por habitante al año (kW-h/hab.año)

La energía consumida de las PTARs, se obtuvo a partir de la información suministrada por la EPMAPS en los registros diarios de operación y en las planillas eléctricas emitidas por la Empresa Eléctrica de Quito (EEQ). Esta

información también se constató en campo verificando el contador instalado en las PTARs electromecánicas, ya que todas ellas poseen un consumo eléctrico adicional (luz eléctrica, alumbrado, etc.) a la de su operación. Se registró de manera mensual, y se obtuvo un valor total del año 2016.

El Indicador se obtiene como el cociente del consumo energético entre la población del año 2016.

Productos químicos consumidos en la PTARs por habitante al año (kg/hab.año)

Los productos químicos que se consideraron es el hipoclorito de calcio ((ClO)₂Ca) utilizado en el proceso de desinfección en el sistema de tratamiento. El consumo mensual del hipoclorito de Calcio para la obtención de la información se consultó directamente a los operadores de las PTARs. Además, se tuvo acceso a los registros de operación para contrastar la información. El valor se describe en unidades de kg a nivel mensual, obteniéndose el valor total al año.

El indicador se obtiene como el cociente de la cantidad de producto químico entre la población del año 2016.

Área total ocupada por la PTAR por habitante (m²/hab)

Este indicador consideró el área total ocupada por la PTARs, no solo lo que involucra las unidades de tratamiento. Alguna información relacionada a este indicador no se disponía reportada por la EPMAPS, por lo que se obtuvo de las visitas a las PTARs determinándose el área total aproximada que ocupan. Las unidades están expresadas en m².

El indicador se obtiene como el cociente del área total ocupada entre la población del año 2016.

Calidad del agua residual tratada según Anexo 1 TULSMA, Tabla 12, expresada en número de resultados en el año que cumplen la normativa respecto al número total de resultados (%)

Los resultados son correspondientes al año 2016. Para el cálculo de la calidad del efluente se tomó los resultados que cumplen el límite máximo permisible de descarga a cuerpos de agua dulce según la Tabla 12 del Anexo 1 del TULSMA. Los parámetros normados son: Sólidos Totales (1600 mg/L), DQO (250 mg/L), DBO₅ (100 mg/L), Nitrógeno Total (15 mg/L), Fosforo Total (10 mg/L).

Criterio de cálculo:

Para este indicador se tomó en cuenta los resultados que cumplen la norma, para cada parámetro (6), a lo largo del año en cada PTARs. El número total de reportes que cumplen con la normativa de sólidos totales de cada PTAR fue contabilizado, condición que se repitió para cada parámetro. El valor contabilizado del número de resultados que cumplen la norma de sólidos totales se sumó a los otros parámetros.

Al final, el valor obtenido se dividió para el número total de resultados. De esta manera se obtuvo el cálculo para cada PTARs. Este indicador se expresó en porcentaje (%).

Cantidad de lodos producido por habitante al año (m³/hab.año):

Debido a que no se disponía de un registro sobre la generación de lodos en cada PTARs, se realizó visitas a campo y se consultó a los operadores o encargados de las PTARs, respecto a la cantidad aproximada de generación de lodos a nivel mensual. Partiendo de ahí, se tomó ese valor referencial para obtener un valor aproximado de generación de lodos a nivel anual. Las unidades están expresadas en m³ por año.

El indicador se obtuvo del cociente de la cantidad de lodos generados en el año para la población del año 2016.

3.4.2 INDICADORES ECONÓMICOS

Costo de inversión de la PTAR por habitante (USD/hab)

El costo total de inversión se consultó en la EPMAPS, a partir de memorias y fichas técnicas de cada una de las PTARs.

El indicador se obtuvo del cociente del costo de inversión para la población del año 2016.

Costo de operación y mantenimiento por habitante al año (USD/hab.año):

En este indicador se consideró los costos de salarios a los operadores, consumo de energía y productos químicos, transporte y costos de operación, información disponible en la EPMAPS.

Criterio de cálculo:

Costo de consumo de energía: Se obtuvo en campo el costo de cada kW-h y se multiplico por la energía consumida. El costo promedio kW-h obtenido fue de USD 0,09 (EEQ, 2017).

Costo de cloro: Se consultó el costo de cloro y se multiplico por la cantidad y se obtuvo el valor aproximado en el año. El costo promedio de cloro granulado por kg fue de USD 3,87.

Salarios de operadores: se obtuvo información de los salarios de los empleados y operadores que están encargados, tanto de la parte administrativa como de operación de las PTARs. Además, se consideraron los décimos tercero y cuarto sueldo en el cálculo total.

Movilización: Debido a la lejanía de las PTARs, se vio conveniente analizar el costo de movilización a cada una de ellas. La distancia recorrida desde la matriz de la EPMAPS hasta el punto de llegada se determinó contabilizando el número de visitas que realizan a la semana o mes, el consumo de galones de gasolina por cada kilómetro recorrido, en esta parte se tomó en cuenta que todos los vehículos utilizan gasolina extra y el costo por galón es de USD 1,48.

Después del cálculo de cada uno de los ítems señalados, al final se sumaron todos los valores para obtener el costo total de operación y mantenimiento de cada una de las PTARs.

3.4.3 INDICADORES SOCIALES

Porcentaje de población servida respecto a la población total (%):

Para este indicador se consideró la población cuyas aguas residuales son conducidas a las PTARs respecto al número total de población rural del barrio.

Las entrevistas a los operadores de las plantas fueron necesarias para estimar el porcentaje de la población servida, según los diseños y áreas de aporte de cada sistema de tratamiento. Esta información no se encuentra disponible, por lo que se optó por tomar el valor propuesto por los técnicos.

Densidad poblacional (hab/km²)

Indicador que se obtuvo de la información de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de cada uno de las parroquias rurales del DMQ.

3.4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.4.4.1 Análisis estadístico descriptivo

Se realizó análisis estadístico descriptivo, clasificando por escenario de tratamiento cada IS (ambiental, económico y social).

3.4.4.2 Análisis de varianza

El objetivo de este análisis de varianza, fue determinar si los IS comparados entre escenarios de tratamiento originan resultados estadísticamente iguales o diferentes. En este caso, se consideró la aplicación de la prueba de la Normalidad de (Shapiro Wilks), prueba de F de igual de varianzas y prueba de Kruskal Wallis con la utilización del software Infostat que facilita el análisis de los datos.

Para la presentación de los resultados, se usaron las medianas, con un nivel de significancia (p) del 0,05, con lo que se consideró que estadísticamente hay diferencias ($p < 0,05$).

Para la aplicación del análisis de varianza, se estableció las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias entre las medianas de los valores de cada indicador de sustentabilidad, es decir que no difieren los indicadores de sustentabilidad comparados entre escenarios de tratamiento.

Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias entre las medianas de los valores de cada indicador de sustentabilidad, es decir que difieren los indicadores de sustentabilidad comparados entre escenarios de tratamiento.

Para estos fines se determinó los factores: escenarios (E-k) y PTARs (P_{ij}) resumidos en la Tabla 3.12.

TABLA 3.12 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES Y VARIABLES PARA LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

FACTORES		VARIABLES
Escenarios (4)	INDICADORES AMBIENTALES	Energía consumida (kW-h/hab.año)
		Productos químicos (kg/hab.año)
		Área ocupada (m^2 /hab)
		Cantidad de lodos generados (m^3 /hab.año)
		Calidad del efluente (%)
PTARs (14)	INDICADORES ECONÓMICOS	Costo de inversión (USD/hab)
		Costo de operación y mantenimiento (USD/hab.año)
	INDICADORES SOCIALES	Población servida (%)
		Densidad Poblacional (hab/m^2)
ELABORACIÓN: Javier García		

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO COMPARANDO EL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL DE LAS PTARS ESTUDIADAS

4.1.1 ESCENARIO I

La Tabla 4.1 presenta la cantidad de meses a lo largo del año 2016 que poseen información de los análisis físico-químicos de cada PTARs tanto del afluente como efluente. Cabe mencionar, que las bases de datos para el año 2016 de todas las PTARS agrupadas en el escenario I, no disponen de todos los meses de información respecto a la calidad físico-química de afluente y efluente, condición que es descrita por la Tabla 4.1. Es importante destacar, que P₁₁ E-I dispone del 33% de la información anual y el resto de PTARs de este escenario tienen bases de datos completas.

TABLA 4.1 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTAR DEL ESCENARIO I

ESCENARIO	ID. PTARs	N
E-I	P ₁₁ E-I	4
	P ₂₁ E-I	12
	P ₁₂ E-I	12
	P ₁₃ E-I	12

ELABORACIÓN: Javier García

La Tabla 4.2 muestra a las PTARs agrupadas en el escenario I y caracterizadas por disponer sólo de tratamiento primario. La condición dada por los escenarios, permite visualizar que 29% de las PTARs estudiadas pertenecen al escenario I, de estas un 75% de las PTARs (P₁₁ E-I, P₁₂ E-I y P₁₃ E-I) tienen Fosas Sépticas y el 25% restante (P₂₁ E-I) Tanque Imhoff.

TABLA 4.2 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO I

ESCENARIO	PTARs	ID.	NOMBRE	UNIDADES DE TRATAMIENTO
E-I	P ₁₁	P ₁₁ E-I	YURAC	Fosa séptica
	P ₂₁	P ₂₁ E-I	CHACHIL	Tanque Imhoff
	P ₁₂	P ₁₂ E-I	ALONGUINCHO	Fosa séptica
	P ₁₃	P ₁₃ E-I	SAN LUIS DE ALONGUINCHO	Fosa séptica

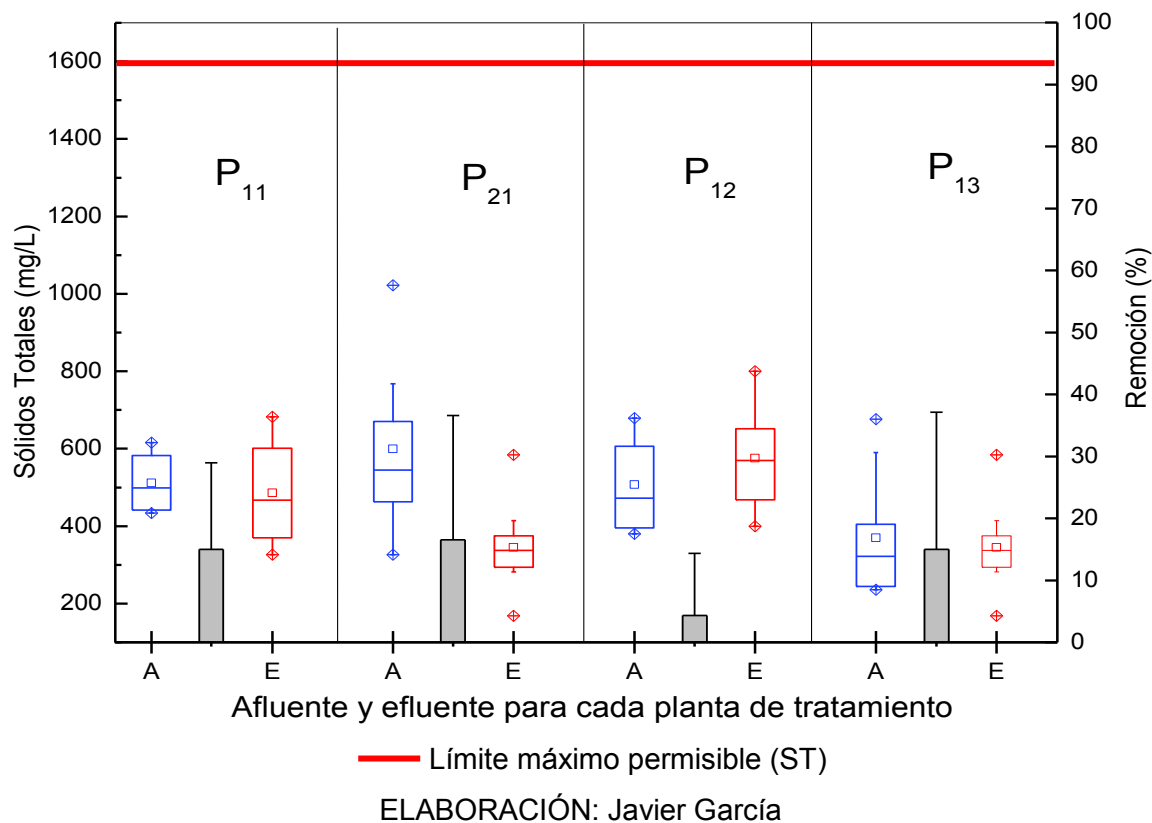
FUENTE: EPMAPS (2017)

ELABORACIÓN: Javier García

La Figura 4.1 muestra las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de ST (barras), reportadas a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario I. El efluente de cada PTAR de este escenario, cumple con la normativa vigente de descarga de efluentes a cuerpos superficiales del Anexo 1 (TULSMA, 2003). A nivel de afluente, el valor medio (promedio) de las plantas P₁₁ E-I, P₂₁ E-I y P₁₂ E-I evidencia similitud, aunque el grado de dispersión supondría variaciones dadas por el ingreso de aguas pluviales o aguas de escurrimiento al sistema de recolección, considerando que son zonas agrícolas. En efecto, en el mes de abril, valores registrados de caudal fueron de 1,82 L/s aportando a la disminución de concentración de ST. Mientras que, la planta con menor desempeño respecto a la eliminación de ST, fue la P₁₂ E-I (P: Fosa Séptica) con un 4,3 % de eliminación.

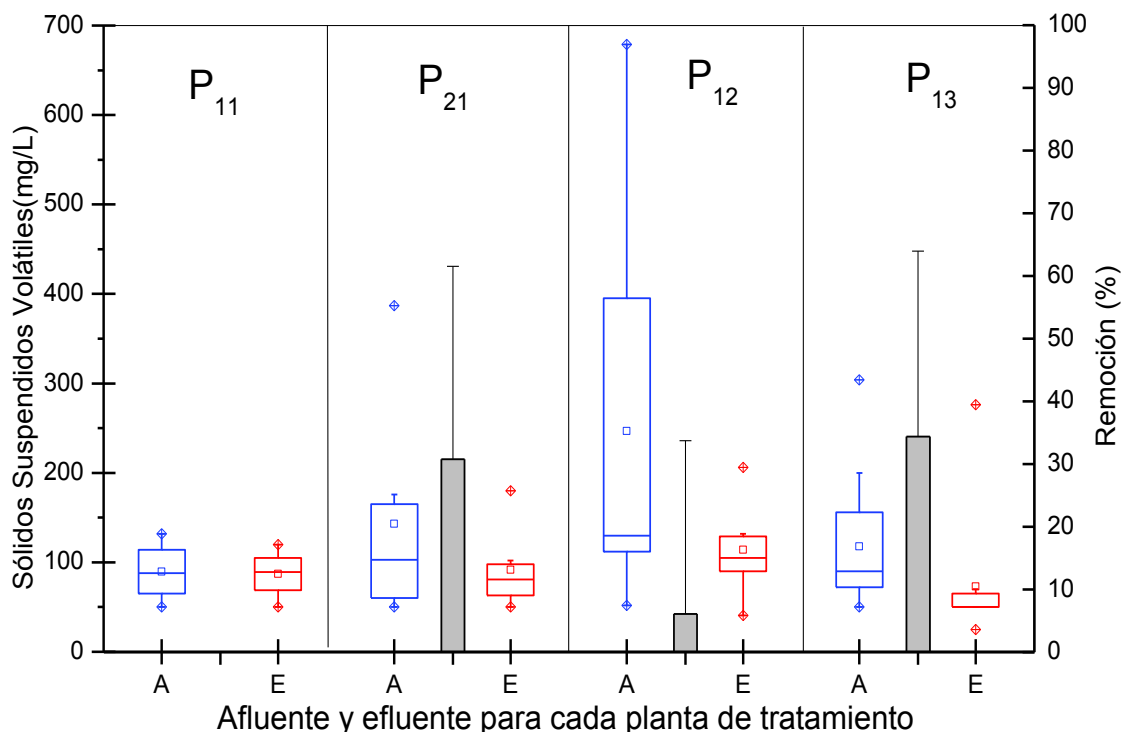
La máxima eficiencia es reportada por la planta P₂₁ E-I (P: Tanque Imhoff), con valores medios que alcanzaron el 16,5%. La inestabilidad del tratamiento, lo evidencian la dispersión de datos descritas en el efluente (CV coeficiente de variación > 0,35). Así, se observa que P₁₁ E-I y P₁₂ E-I ambas basadas en Fosa Séptica, muestran mayor variabilidad de los datos que P₂₁ E-I (P: Tanque Imhoff) y P₁₃ E-I (P: Fosa Séptica), demostrando en forma preliminar que ambas tecnologías tienen distinto comportamiento operacional para este parámetro. Además, el análisis estadístico de varianza determinó que son similares estadísticamente ($p > 0,05$) en la eliminación de ST para las 4 PTARs.

FIGURA 4.1 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN EL ESCENARIO I



En la Figura 4.2 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de sólidos SSV (barras), reportadas a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario I. La forma de los gráficos de caja, dada por diferencias entre medias y medianas entre los reportes de afluente y efluente de cada PTAR, hablarían de datos que no cumplen con criterios de normalidad ($p < 0,05$). SSV no es un parámetro normado por el Anexo 1 del TULSMA (2003). El desempeño de cada planta evaluado desde la eficiencia de eliminación, determinó que P₁₃ E-I basada en fosa séptica sea la más eficiente ($> 35\%$) y la menos eficiente P₁₁ E-I, donde no hubo eliminación de este parámetro. El comportamiento operacional de estas plantas, fue estable corroborado con el análisis de varianza, que determinó que no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) en el tratamiento de este parámetro entre las PTARs de este escenario, demostrando que todas las plantas se comportaron en forma similar.

FIGURA 4.2 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL ESCENARIO I

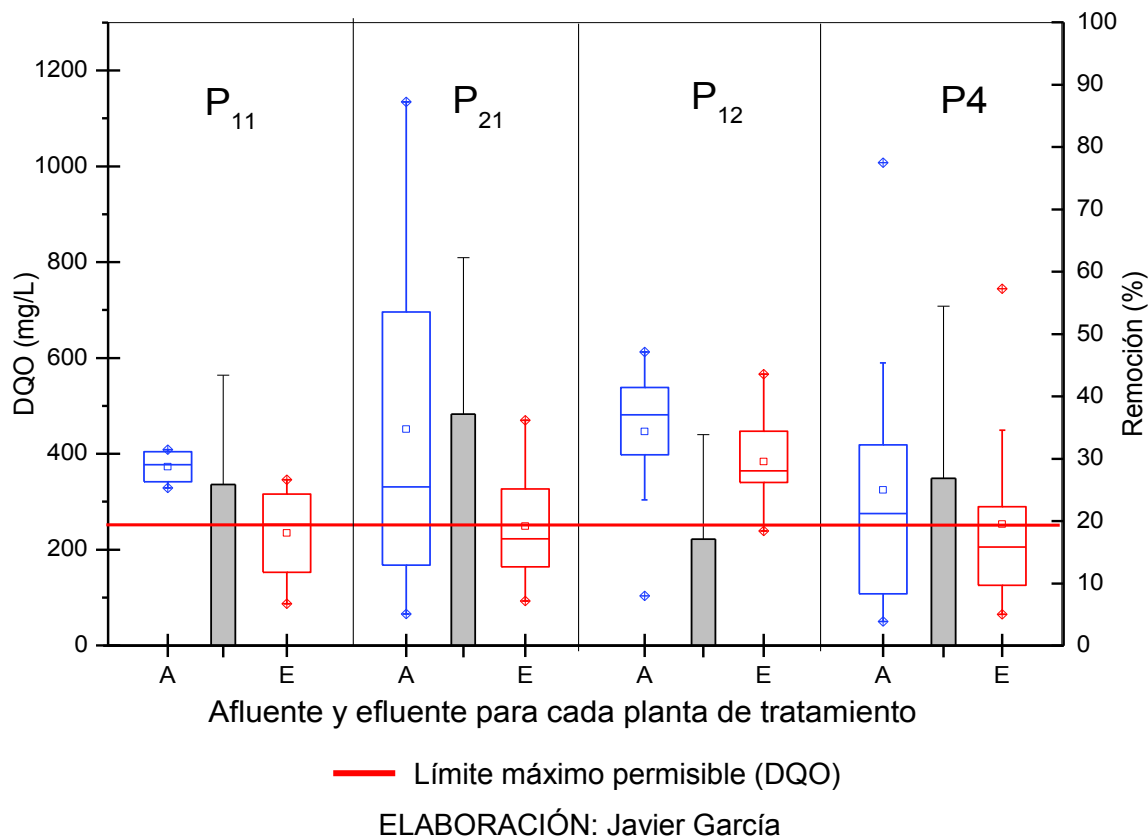


ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.3 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de DQO (barras), registradas a lo largo del año 2016, para cada una de las PTARs del escenario I. La información de datos de afluente y efluente de cada PTAR, demuestra que estos no siguen criterios de normalidad ($p < 0,05$), condición que es verificable porque las medias y medianas no son iguales. El parámetro es normado (≤ 250 mg/L; TULSMA, 2003) y bajo ese criterio el valor medio del efluente de cada PTAR de este escenario, cumpliría con los requerimientos de descarga a cuerpos superficiales de agua, excepto la P₂₁ E-I. El valor medio del afluente de cada PTAR, denota variabilidad entre ellas dado a que factores como ubicación o el ingreso de agua pluvial o procedente de la agricultura hacen variable la condición de este parámetro. Eficiencias de eliminación menores al 20 % se presentaron en P₁₂ E-I que tiene fosa séptica y las mayores eficiencias promedio cercanas al 35 % se dieron en P₂₁ E-I que utiliza tanque Imhoff. Para todas las plantas de este escenario, los valores del efluente reportados no evidencian estabilidad ($CV > 0,35$), condición

que denota en forma preliminar una inestabilidad en el funcionamiento operacional de fosas sépticas y tanque Imhoff. En el análisis de varianza determinó que estadísticamente no hay diferencias ($p > 0,05$) en el tratamiento de este parámetro entre las PTARs.

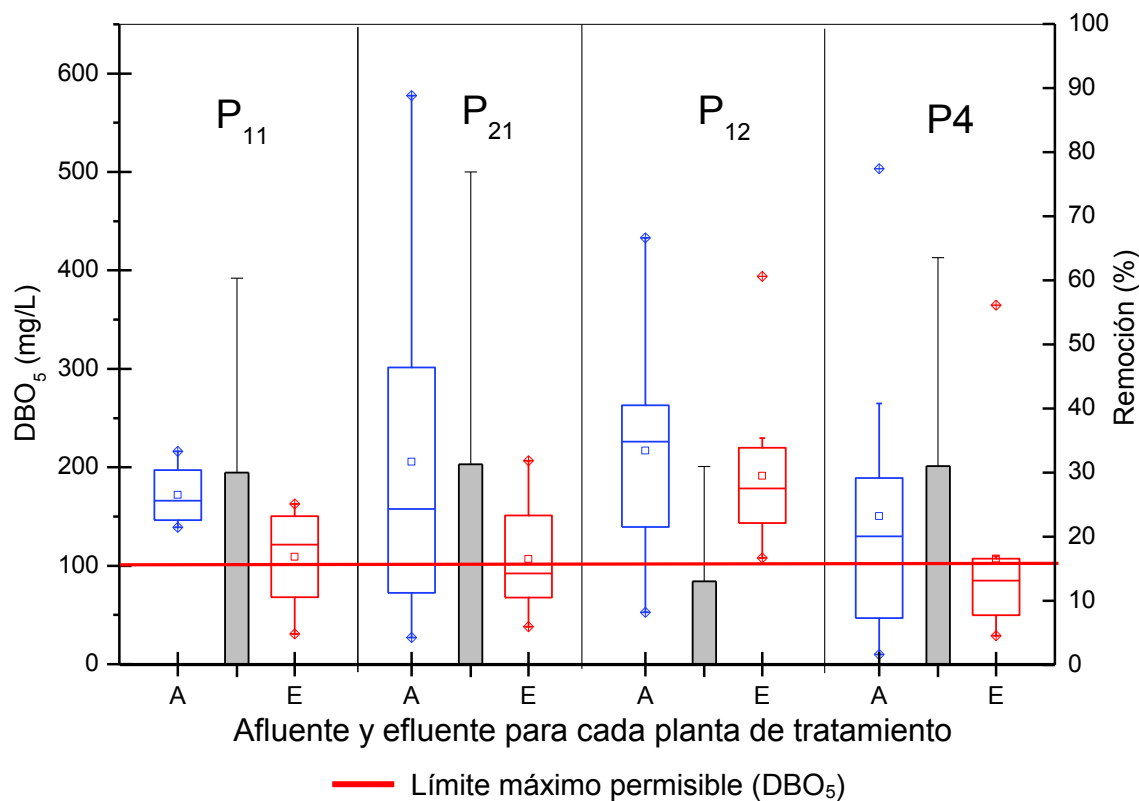
FIGURA 4.3 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO I



En la Figura 4.4 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de DBO₅ (barras), reportadas a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario I. La información reportada por sus valores de media y medianas para cada PTAR y relacionada a DBO₅ del afluente y efluente, muestran que varias de las bases de datos no cumplen con criterios de normalidad ($p < 0,05$). El Anexo 1 (TULSMA, 2003) restringe la descarga de efluentes con valores de DBO₅ superiores a 100 mg/L, condición que para los valores medios de efluente de 2 PTARs fue superada (P₁₁ E-I, P₁₂ E-I). En el caso del afluente, fue posible evidenciar variabilidad ($CV >$

0,35) en los valores de la planta P₂₁ E-I, pudiendo ser por la inclusión de aguas por escorrentía derivadas de la agricultura, actividad principal de la zona (GPPintag, 2012). Los valores mínimos (< 20 %) respecto a la eficiencia de eliminación fueron obtenidos por P₁₂ E-I (fosa séptica); mientras, los valores máximos (> 30%) se obtuvieron para P₂₁ E-I (Tanque Imhoff) y P₁₃ E-I (fosa séptica). Al analizar el CV, no presentan estabilidad en la operación de las 4 PTARs (CV > 0,35). De acuerdo, al análisis de varianza no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) en el funcionamiento de estas PTARs, por ende el tipo de tratamiento que hay en las PTARs no influye significativamente en la eliminación de dicho parámetro.

FIGURA 4.4 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL ESCENARIO I



ELABORACIÓN: Javier García

4.1.2 ESCENARIO II

La Tabla 4.3 presenta la cantidad de meses a lo largo del año 2016 que poseen información de los análisis físico-químicos de cada PTARs tanto del afluente como efluente. Cabe mencionar, que las bases de datos para el año 2016 de todas las

PTARS agrupadas en el escenario II, no disponen de todos los meses de información respecto a la calidad físico-química de afluente y efluente, condición que es descrita por la Tabla 4.3. Es importante destacar que las PTARs de este escenario tienen bases de datos completas.

TABLA 4.3 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO II

ESCENARIO	ID. PTARs	n
II	P ₁₁ E-II	12
	P ₂₁ E-II	12

ELABORACIÓN: Javier García

La Tabla 4.4 muestra a las PTARs agrupadas en el escenario II y caracterizadas por disponer de tratamiento primario y secundario. La condición dada por los escenarios, permite visualizar que 14% de las PTARs estudiadas pertenecen al escenario II.

TABLA 4.4 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO II

ESCENARIO	PTARs	ID.	NOMBRE	UNIDADES DE TRATAMIENTO
II	P ₁₁	P ₁₁ E-II	PINTAG	Tanque Imhoff + filtro anaerobio
	P ₂₁	P ₂₁ E-II	LA CALERA	Fosa séptica + filtro anaerobio

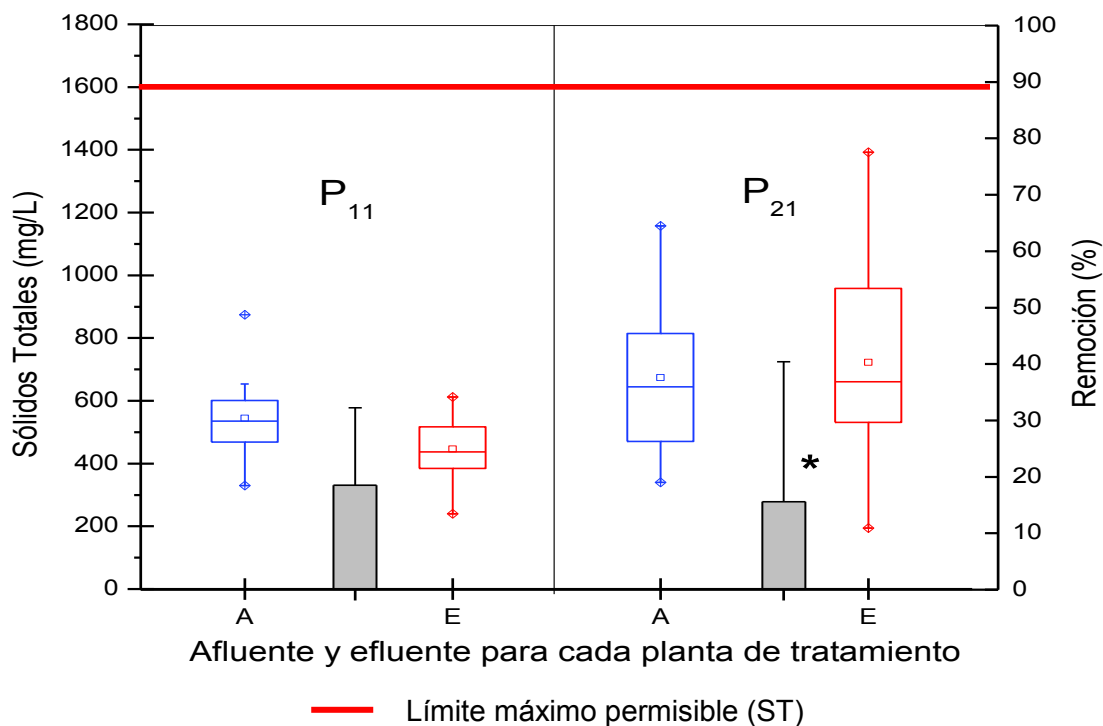
FUENTE: EPMAPS (2017) ELABORACIÓN: Javier García

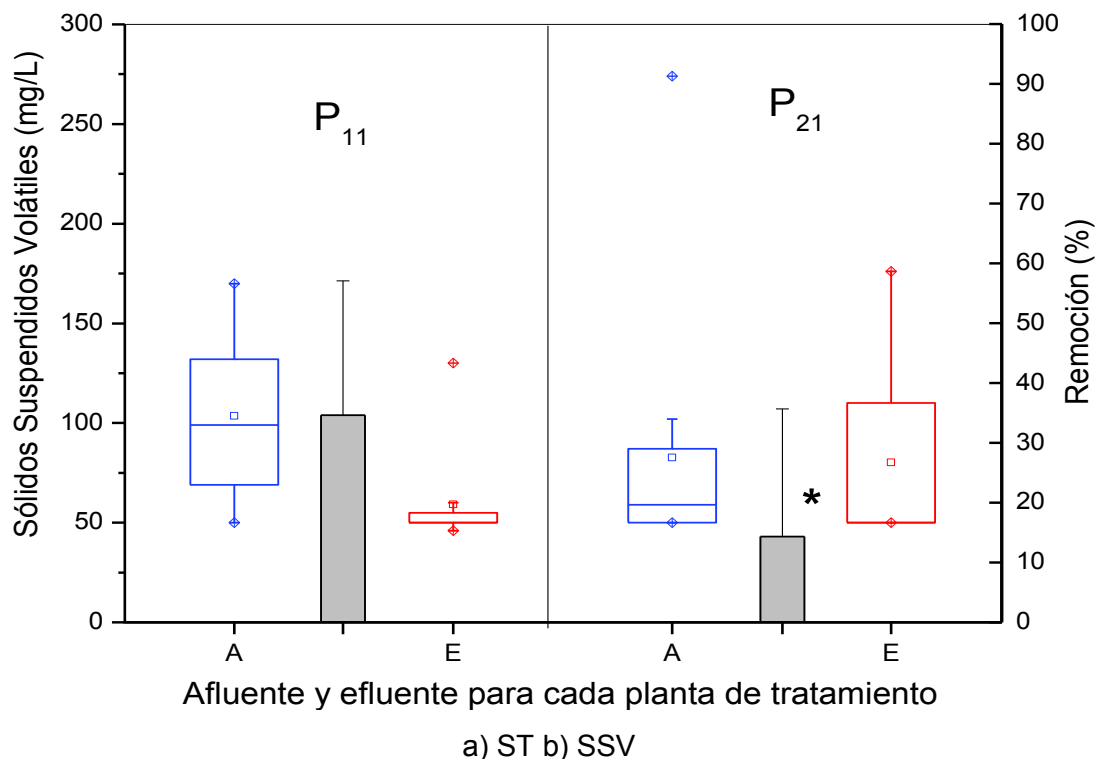
En la Figura 4.5 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de sólidos totales y sólidos suspendidos volátiles (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario II. El efluente de cada PTAR de este escenario, cumplen con la normativa vigente de descarga de efluentes a cuerpos superficiales del Anexo 1 (TULSMA, 2003). SSV no es un parámetro normado por el Anexo 1 del TULSMA (2003). Mientras que, eficiencias de eliminación respecto a ST menores al 20% presentaron las dos plantas (P₁₁ E-II y P₂₁ E-II), la máxima eficiencia media reportada por la planta P₁₁ E-II fue de 18,5%. Al analizar la dispersión de datos descritos en el efluente (CV coeficiente de variación > 0,35), se observa que P₂₁ E-II presenta mayor dispersión que la P₁₁ E-II teniendo distinta tecnología,

evidenciando de forma preliminar que ambas tecnologías tienen distinto comportamiento operacional para este parámetro.

Además, el análisis de varianza determinó que son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) en el tratamiento de ST entre 2 PTARs. Para el parámetro SSV no normado en el Anexo 1 del TULSMA, (2003), determinó una eliminación promedio de 35% en la planta P₁₁ E-II, mientras que la P₂₁ E-II presentó valores menores al 15%. Los valores reportados tanto del afluente como el efluente relacionada a SSV no cumplen con criterios de normalidad esto relacionando los valores de media y medianas. Al realizar el análisis de varianza evidencia que estadísticamente hay diferencias ($p < 0,05$) en los tratamientos de las dos plantas.

FIGURA 4.5 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL ESCENARIO II





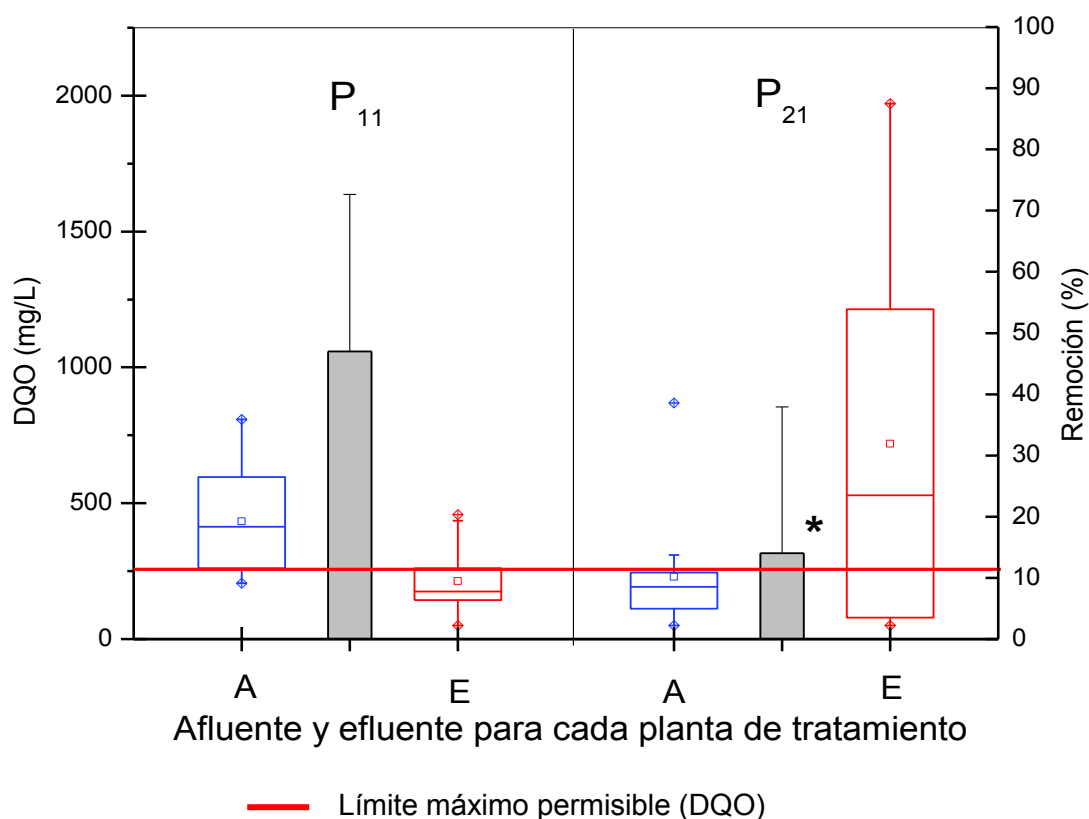
*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

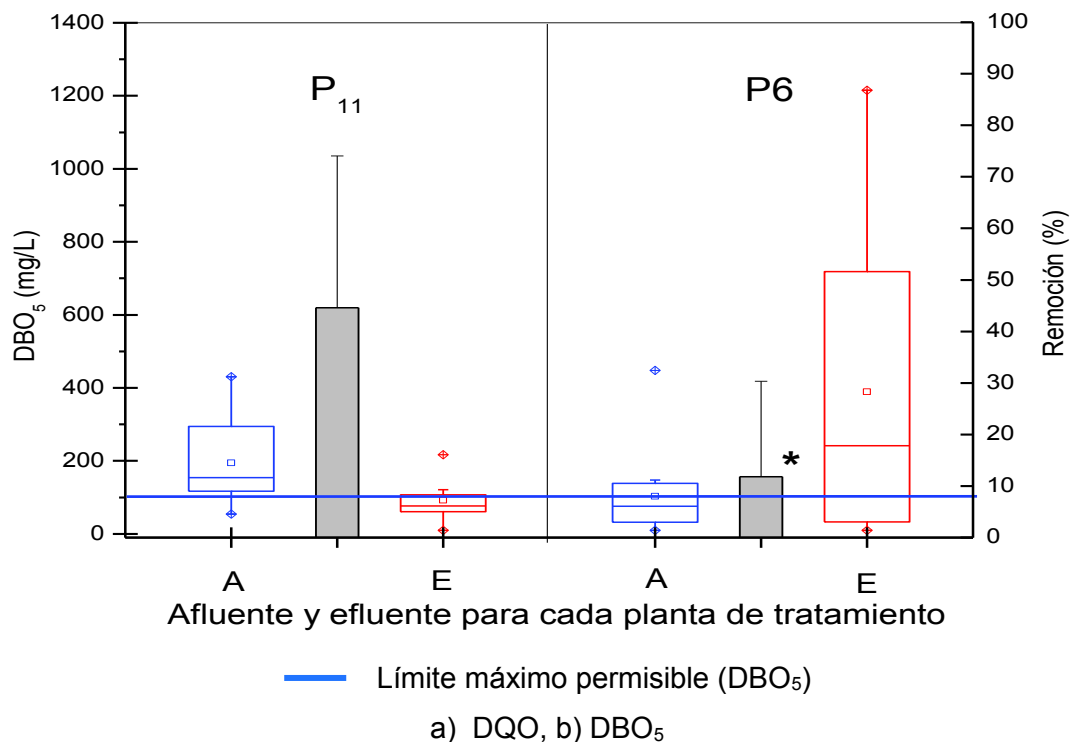
ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.6 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario II. Los datos reportados de las 2 PTARs tanto del afluente como el efluente no cumplen con criterios de normalidad, debido a que se verifica, que las medias y medianas no son iguales. Según el Anexo 1 del TULSMA (2003), no deben superar los 250 mg/L, bajo este criterio solo la P_{11} E-II, cumple con los requerimientos de descarga, mientras que la P_{21} E-II denota incumplimiento, pudiendo ser diversos factores, como el descuido o falta en el mantenimiento de la planta, se vea reflejado en los resultados, evidenciando gran variabilidad de los datos registrados. La P_{11} E-II presenta valores máximos de eficiencias de eliminación mayores al 40%, Mientras que, la planta con menor desempeño respecto a la eliminación de DQO, fue la P_{21} E-II con un 14% de eliminación. Además, el análisis estadístico de varianza determinó que difieren estadísticamente ($p < 0,05$), demostrando en forma preliminar que ambas

tecnologías tienen distinto comportamiento operacional para la eliminación de este parámetro. Referente a la DBO_5 las descargas a cuerpos superficiales no deben superar los 100 mg/L, solo la P_{11} E-II cumple con este requerimiento, ya que presenta mayores valores de eliminación promedio ($> 40\%$), siendo el filtro anaerobio un sistema complementario de tratamiento, ofrece un rendimiento alto de eliminación de materia orgánica. En cambio la P_{21} E-II que presenta un tanque Imhoff sumado un filtro anaerobio, presenta bajos porcentajes de eficiencias (11%), evidenciando una gran dispersión de los datos reportados. El comportamiento operacional de estas plantas es diferente, como lo determinan el análisis de varianza ($p < 0,05$) que indica que estadísticamente son diferentes en la eliminación de este parámetro.

FIGURA 4.6 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL ESCENARIO II





*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

ELABORACIÓN: Javier García

4.1.3 ESCENARIO III

La Tabla 4.5 presenta la cantidad de meses a lo largo del año 2016 que poseen información de los análisis físico-químicos de cada PTARs tanto del afluyente como efluente. Cabe mencionar, que las bases de datos para el año 2016 de todas las PTARS agrupadas en el escenario III, no disponen de todos los meses de información respecto a la calidad físico-química de afluyente y efluente. Es importante destacar, que P₁₁ E-III dispone del 92% de la información anual, y P₂₁ E-II tienen la base de datos completa.

TABLA 4.5 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO III

ESCENARIO	ID. PTARs	n
III	P ₁₁ E-III	11
	P ₂₁ E-III	12

ELABORACIÓN: Javier García

La Tabla 4.6 presenta a las PTARs agrupadas en el escenario III y caracterizadas por disponer de pretratamiento, tratamiento primario y secundario. La condición dada por los escenarios, permite visualizar que 14% de las PTARs estudiadas pertenecen al escenario III.

TABLA 4.6 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO 3

ESCENARIO	PTARS	ID	NOMBRE	UNIDADES DE TRATAMIENTO
III	P ₁₁	P ₁₁ E-III	UBILLUS	Cribado + fosa séptica + filtro anaerobio
	P ₂₁	P ₂₁ E-III	GUALEA CRUZ	Cribado + desarenador + fosa séptica + filtro anaerobio

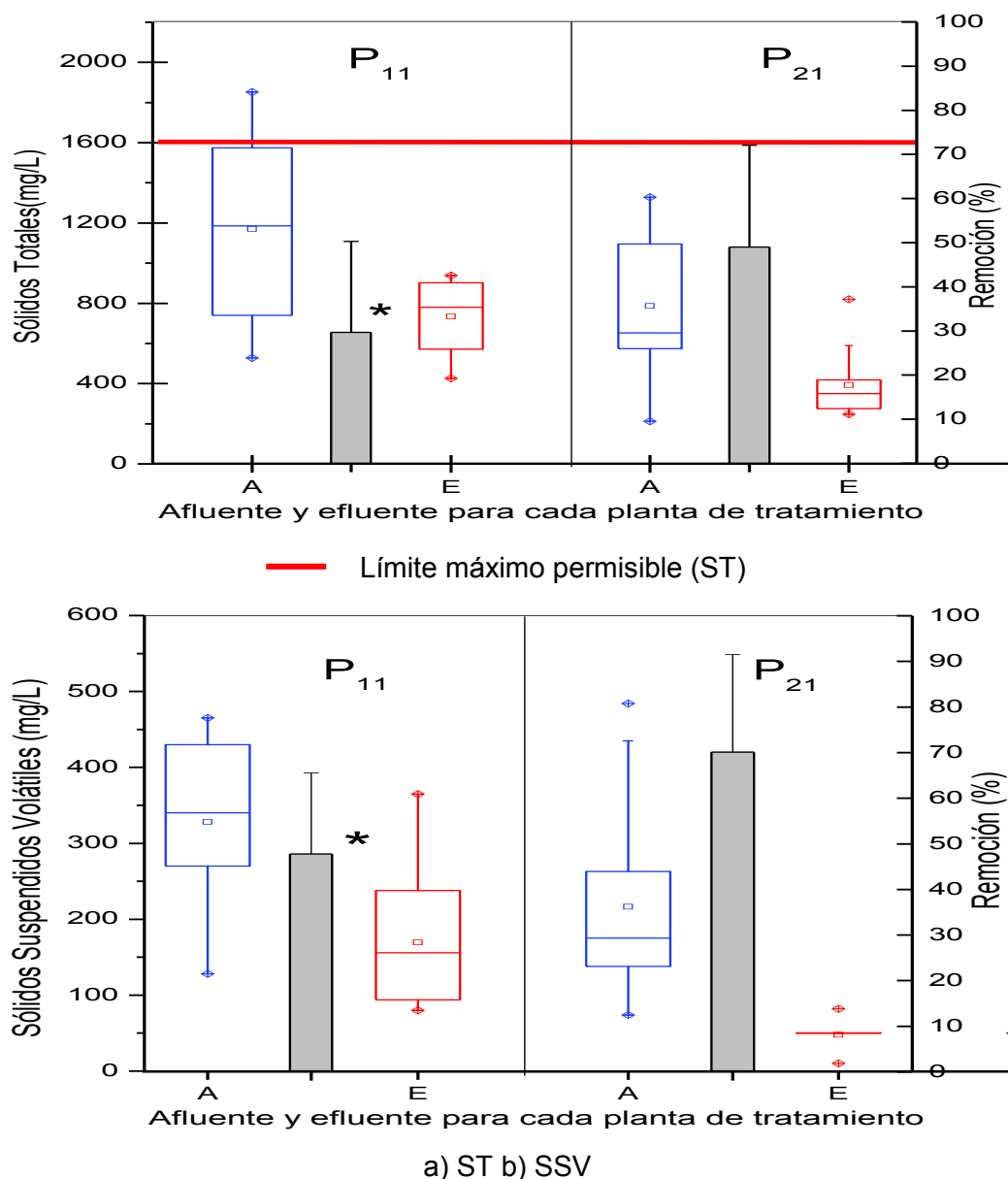
FUENTE: (EPMAPS, 2017)

ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.7 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de sólidos totales y sólidos suspendidos volátiles (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario III. Al analizar la dispersión de los datos (CV), la planta P₁₁ E-III presenta una menor dispersión (CV < 0,35) mientras que la P₂₁ E-III presenta mayor dispersión (CV > 0,35), evidenciando de forma preliminar que ambas plantas muestran distinto comportamiento operacional para este parámetro. P₁₁ E-III presenta un menor desempeño de eliminación tanto de ST como de SSV con valores promedios de 30 y 48% respectivamente; mientras para P₂₁ E-III presenta valores mayores en eliminación para ST y SSV de 50% y 70%, respectivamente.

P₁₁ E-III muestra mayor variabilidad en los datos reportados en el efluente, demostrando diferencias en el comportamiento operacional de las plantas. El parámetro ST normado (< 1600mg/L), indica que el efluente de cada PTAR cumple con la normativa vigente de descarga a cuerpos superficiales según el Anexo 1 del TULSMA (2003). El análisis de varianza, determinó que estadísticamente existen diferencias (p < 0,05) entre las plantas, demostrando que las plantas no se comportan de manera similar en términos de eliminación de ST y SSV.

FIGURA 4.7 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES PARA EL ESCENARIO III



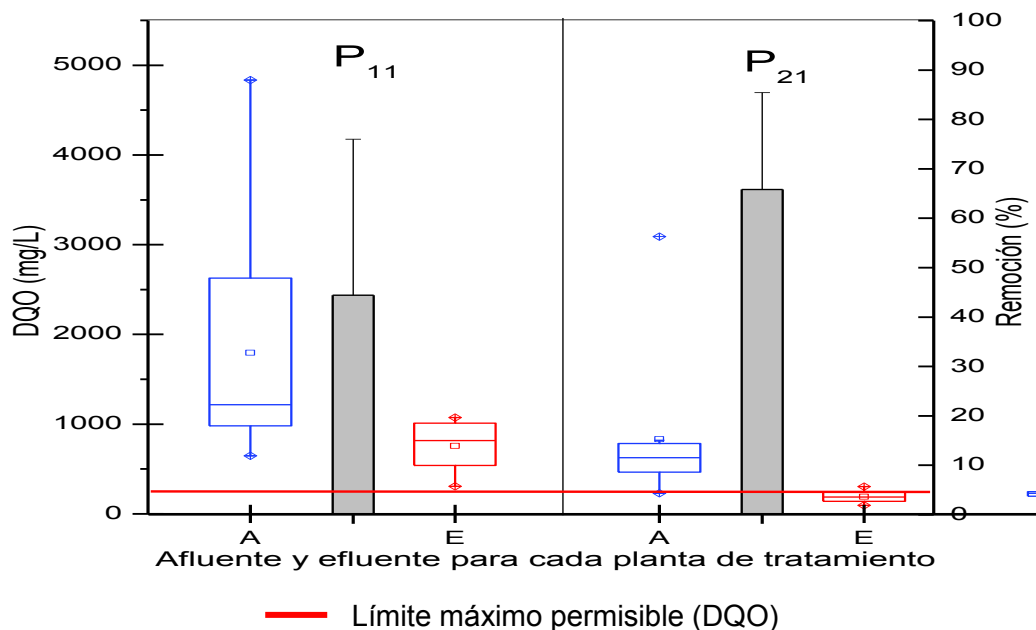
*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

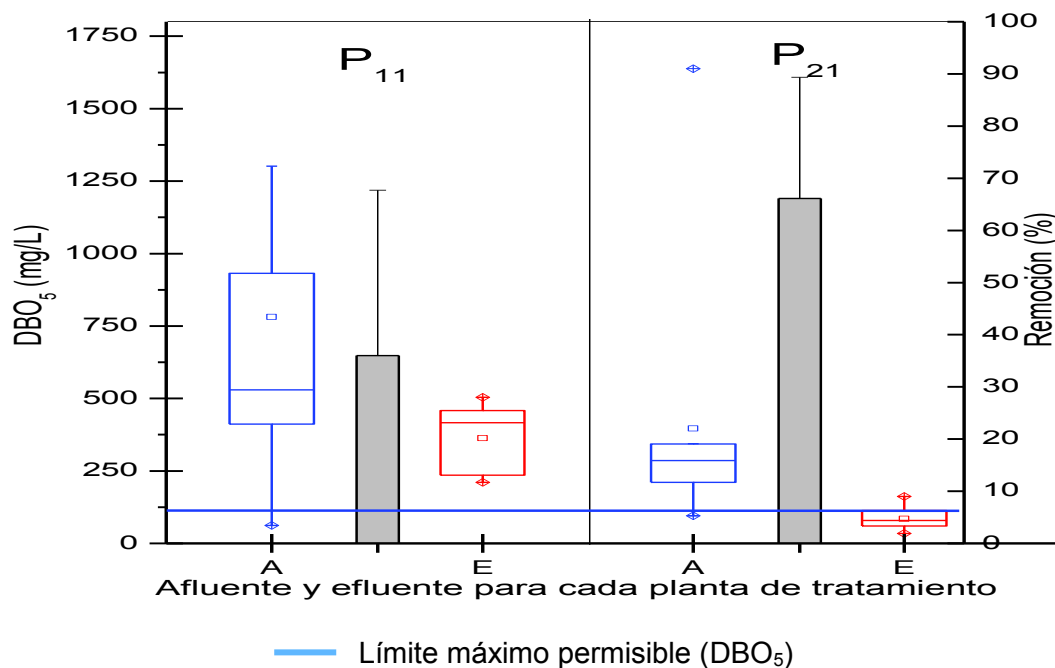
ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.8 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario III. Los datos registrados de las 2

PTARs tanto del afluente como el efluente no cumplen con criterios de normalidad observando las medias y medianas no coinciden. Según el Anexo 1 del TULSMA (2003), para DQO no deben superar los 250 mg/L, bajo este criterio solo la P₂₁ E-III, cumple con los requerimientos de descarga, mientras que la P₁₁ E-III denota incumplimiento; por otra parte en términos de DBO₅ las descargas no deben superar los 100 mg/L, en este caso P₂₁ E-III cumple con este requerimiento (TULSMA, 2003). P₂₁ E-III presenta valores máximos de eficiencias de eliminación mayores al 65%, caso contrario sucede con P₁₁ E-III con menor desempeño respecto a la eliminación de DQO con un 44%. El análisis de varianza determinó que no existen diferencias importantes ($p > 0,05$) entre los tratamientos de las 2 plantas, respecto a la eliminación de DQO, demostrando en forma preliminar que ambas plantas tienen similar comportamiento operacional. Respecto a la eliminación de DBO₅ determinó una eliminación promedio de 66% en la planta P₂₁ E-III, en cambio la P₁₁ E-III, presentó porcentajes de eficiencias promedios del 36%. El análisis de varianza determinó que no difieren estadísticamente ($p > 0,05$) en el comportamiento operacional de las plantas.

FIGURA 4.8 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO III





ELABORACIÓN: Javier García

4.1.4 ESCENARIO IV

La Tabla 4.7 presenta la cantidad de meses a lo largo del año 2016 que poseen información de los análisis físico-químicos de cada PTARs tanto del afluente como efluente. Cabe mencionar, que las bases de datos para el año 2016 de todas las PTARS agrupadas en el escenario IIII, no disponen de todos los meses de información respecto a la calidad físico-química de afluente y efluente. Es importante destacar, que P₁₁ E-IV y P₂₁ E-IV disponen del 25% de la información anual, P₃₁ E-IV dispone del 66% de la información anual, P₃₃ E-IV posee el 83% de la información anual y P₁₂ E-IV y P₃₂ E-IV tienen la base de datos completa.

TABLA 4.7 NÚMERO DE MESES QUE SE DISPONE DE INFORMACIÓN PARA CADA PTARS DEL ESCENARIO IV

ESCENARIO	ID. PTARs	n
IV	P ₁₁ E-IV	3
	P ₂₁ E-IV	3
	P ₃₁ E-IV	8
	P ₁₂ E-IV	12
	P ₃₂ E-IV	12
	P ₃₃ E-IV	10

ELABORACIÓN: Javier García

La Tabla 4.8 muestra a las PTARs agrupadas en el escenario IV y caracterizadas por disponer de pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. La condición dada por los escenarios, permite visualizar que 42% de las PTARs estudiadas pertenecieran al escenario IV, basado un 50% en PTARs disponen de sistema de lodos activados, 33% disponen de sistema de humedales construidos y el 17% dispone un sistema de vermifiltración.

TABLA 4.8 PTARS QUE CORRESPONDEN AL ESCENARIO IV

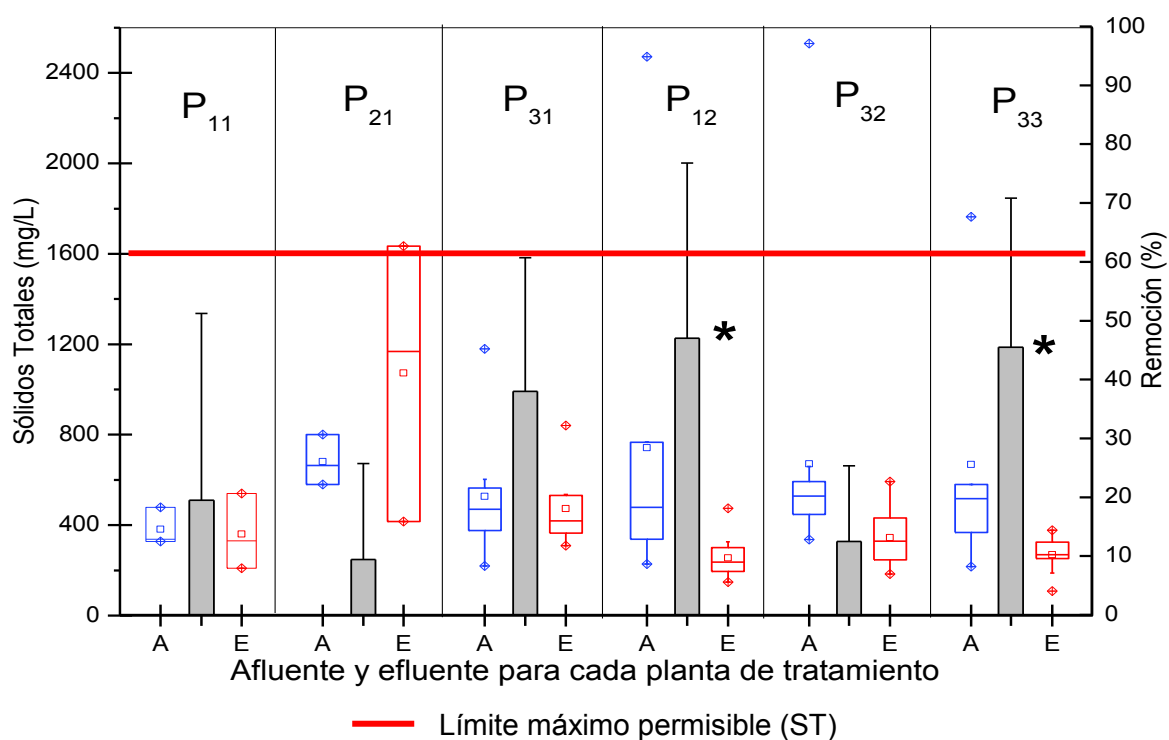
ESCENARIO	PTARs	ID.	NOMBRE	UNIDADES DE TRATAMIENTO
E-IV	P ₁₁	P ₁₁ E-IV	BELLAVISTA	Cribado + desarenador + tanque Imhoff + filtro anaerobio + humedal artificial
	P ₂₁	P ₂₁ E-IV	PINGUILLA	Cribado + desarenador + vermifiltración + desinfección
	P ₃₁	P ₃₁ E-IV	LAS TOLAS	Pretratamiento + tanque de sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + desinfección
	P ₁₂	P ₁₂ E-IV	INGAPI	Cribado + fosa séptica + humedal artificial + desinfección
	P ₃₂	P ₃₂ E-IV	LA DELICIA	Pretratamiento + tanque de sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + desinfección
	P ₃₃	P ₃₃ E-IV	NONO	Pretratamiento + tanque de sedimentación + lodos activados + sedimentador secundario + desinfección

FUENTE: EPMAPS (2017) ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.9 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de sólidos totales (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. Las descargas de las PTARs de este escenario cumplen con la normativa vigente de descarga a cuerpos superficiales del Anexo 1 (TULSMA, 2003). La planta con mejor desempeño respecto a la eliminación de ST, fue la P₁₂ E-IV con un 47%. Mientras que, la planta con menor eficiencia es P₂₁ E-IV (sistema de vermifiltración) con un valor medio de 9,4%, puede deberse a que al tener un sistema de vermifiltración y el periodo de operación es solo de tres meses (octubre-diciembre 2016), esto debido al tipo de material del sustrato que se utilice, pues puede representar un arrastre de partículas o sólidos y no representa la composición propia del agua residual (Kumar et al., 2015; Li et al., 2009). La P₃₂ E-IV presenta una eficiencia promedio de eliminación de ST del 12%, puede deberse

a que las bacterias no tienen la capacidad de degradar sales las cuales se expresan en términos de sólidos disueltos, y lo que se expresa en el efluente puede ser en la gran mayoría sólidos disueltos (Castillo y Guerra, 2014; Charpentier, 2014). Además se observa que P₁₁ E-IV y P₂₁ E-IV muestran mayor variabilidad de datos en el efluente que P₁₂ E-IV, P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₃ E-IV, evidenciando una vez más las diferencias en el comportamiento en la operación de estas plantas. El análisis de varianza, determino que son distintas estadísticamente ($p < 0,05$) de P₁₂ E-IV y P₃₃ E-IV con las demás plantas de este escenario rechazando la hipótesis nula; estas diferencias, pueden ser debido a los porcentajes elevados de eliminación en comparación con las demás PTARs, determinando de forma preliminar que el comportamiento operacional son distintos en términos de eliminación de ST.

FIGURA 4.9 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES PARA EL ESCENARIO IV



*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

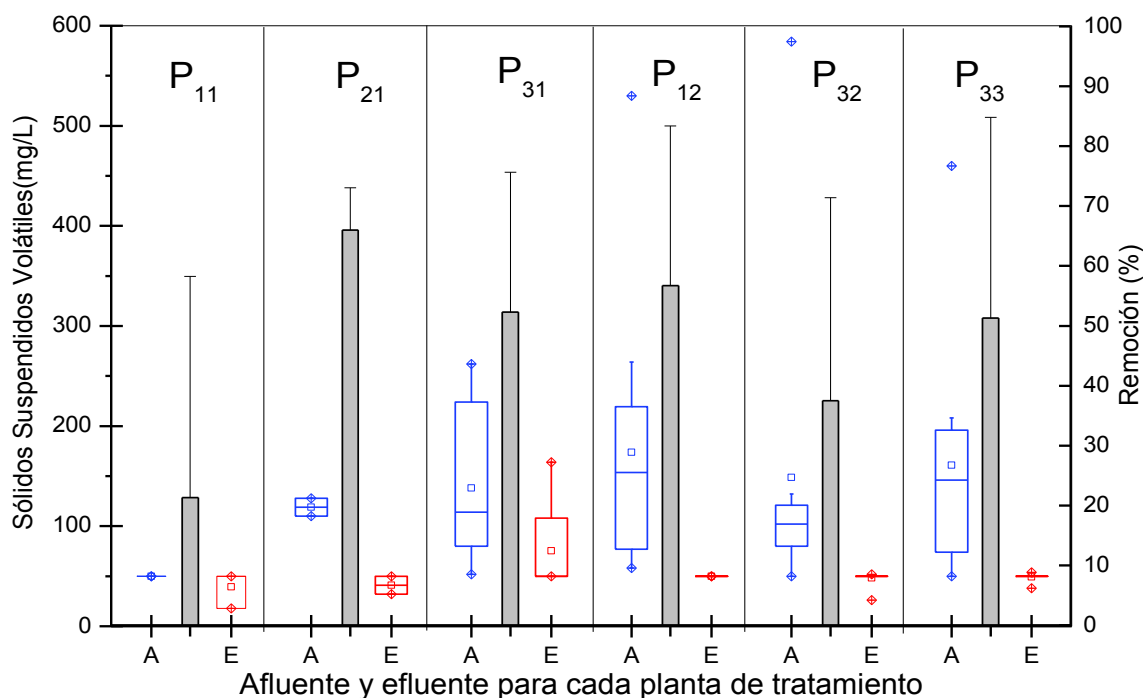
ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.10 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de sólidos

suspendidos volátiles (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. El parámetro SSV no es normado por el TULSMA (2003). P₁₁ E-IV presenta el menor porcentaje en eliminación SSV con un 21%, mientras el mejor escenario de depuración presenta la P₂₁ E-IV (sistema de vermifiltración) con una eficiencia promedio del 66%, debido a las acciones físicas de sedimentación que se llevan a cabo en el medio filtrante, permitiendo la eliminación de SSV (Velasco, 2015). La P₁₂ E-IV teniendo dentro del diseño de tratamiento, un humedal construido presenta porcentajes de eliminación en promedio de 56,7%, con una concentración promedio de 50 mg/L. Según resultados obtenidos en literatura, se logra eficiencias del 99% de eliminación de sólidos suspendidos previa la utilización de un pretratamiento logrando la disminución de la carga de sólidos y así obteniendo en el efluente final concentraciones de $9,5 \pm 8,5$ mg/L (Vymazal, 2005). Mientras que P₁₁ E-IV, al tener un humedal artificial después de un tratamiento primario y complementario (tanque Imhoff y filtro anaerobio respectivamente), hace suponer que no es eficiente la eliminación de sólidos suspendidos, puede deberse a que el sistema de tratamiento hasta el año en análisis (octubre a diciembre del 2016), hay un pleno desarrollo de la vegetación y gran parte de las bacterias responsables de la eliminación tiene un periodo de desarrollo de 3 a 6 meses (García y Corzo, 2008; Plaza de los Reyes et al., 2011). El mecanismo de eliminación en este tipo de humedales construidos de flujo subsuperficial es por filtración, se produce por la retención de la materia en suspensión a través del sustrato, raíces y tallos de la vegetación (Lara, 1999; Vymazal, 2005). La mayoría de sólidos suspendidos se filtran en los primeros metros de la zona de entrada, entre el 12 y 20% de la longitud inicial del humedal (CENTA, 2010). El bajo rendimiento de eliminación puede deberse al mal mantenimiento del sistema de tratamiento debido a que la acumulación de sólidos suspendidos puede generar obstrucción en el sistema y perjudicar la operación del humedal (García & Corzo, 2008). Dentro de los sistemas convencionales, la P₃₂ E-IV posee el menor porcentaje de eficiencia de eliminación (38%) (lodos activados), este valor puede deberse a que, presenta una mejor calidad del afluente que las demás PTARs, como se observa en la Figura 4.10, al tener una concentración promedio de 148, 67 mg/L, la depuración va a ser menor para llegar a los límites

establecidos en la normativa de descarga. P₁₁ E-IV y P₃₁ E-IV tienen distintas tecnologías de tratamiento y presentan mayor dispersión en los datos que las restantes plantas, esto hace suponer que hay diferencia en la operación de las plantas. No obstante, al realizar el análisis estadístico de varianza, se determinó que no existen diferencias importantes ($p > 0,05$) entre las PTARs en la eliminación de SSV.

FIGURA 4.10 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES PARA EL ESCENARIO IV

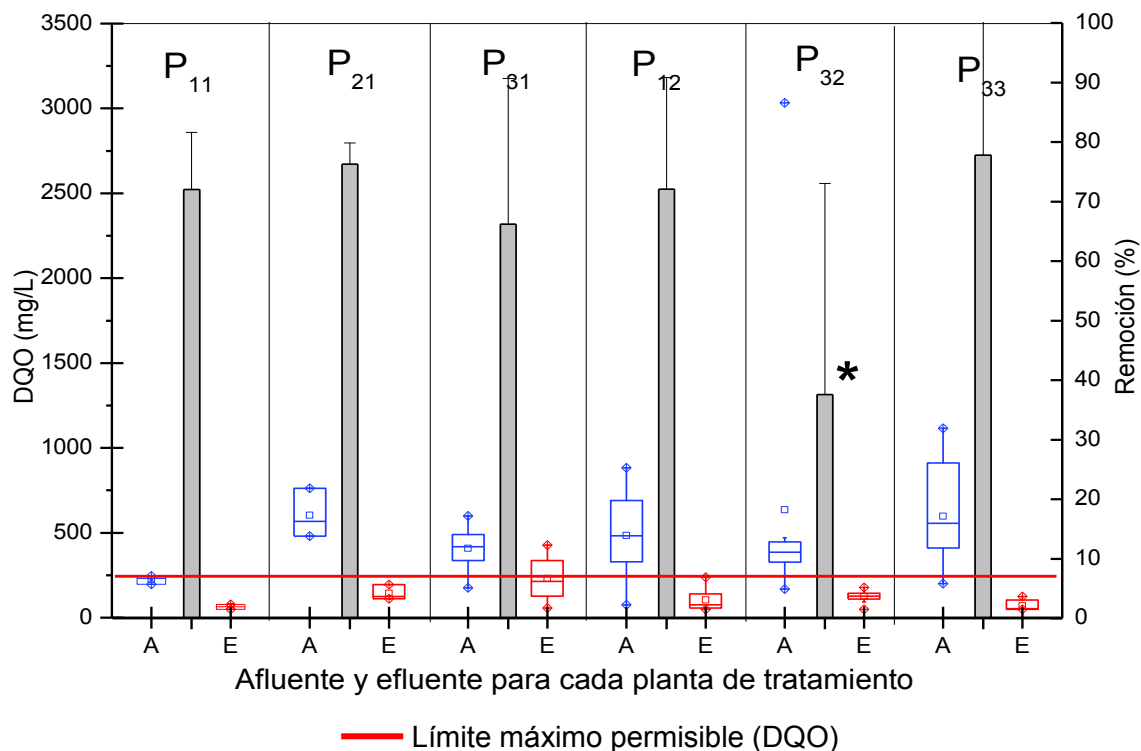


ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.11 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de DQO (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. El análisis de varianza realizado, indica que estadísticamente son diferentes ($p > 0,05$) en la operación de P₃₂ E-IV con respecto a las demás plantas en la eliminación DQO, debido que tiene un porcentaje menor de eliminación (38%) a las otras plantas, sin embargo cumple con la normativa de descarga a cuerpos superficiales según el Anexo 1 ($< 250\text{mg/L}$) del TULSMA (2003). De forma preliminar se puede establecer diferencias en el comportamiento operacional de las plantas de este

escenario en la eliminación de este parámetro. La P₂₁ E-IV (sistema de vermifiltración) obtiene una eliminación promedio del 76,3%, comparando los valores promedios (medias) con la normativa ambiental para descargas a cuerpos de agua del Anexo 1, se evidencia que se encuentra por debajo del LMP (TULSMA, 2003). Resultados de eficiencias de eliminación de DQO reportan en promedio del 80% (Merly, et al., 2013). Esta eliminación se relaciona con la sedimentación, adsorción y biodegradación de la materia orgánica que se queda adherida en el sustrato del vermifiltro y a las enzimas que son secretadas por las lombrices que ayudan a la degradación de varios compuestos químicos (Lakshmi et al., 2014; Lou et al., 2010). La P₃₃ E-IV presenta el mejor escenario de depuración con un porcentaje promedio de 77,8%, presentando cargas orgánicas elevadas en el afluente resultando un porcentaje alto de eliminación. Estudios similares han demostrado eficiencias de eliminación hasta el 80% de DQO, con concentraciones que oscilan entre 31 y 35 mg/L (Varila y Díaz, 2008).

FIGURA 4.11 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO IV

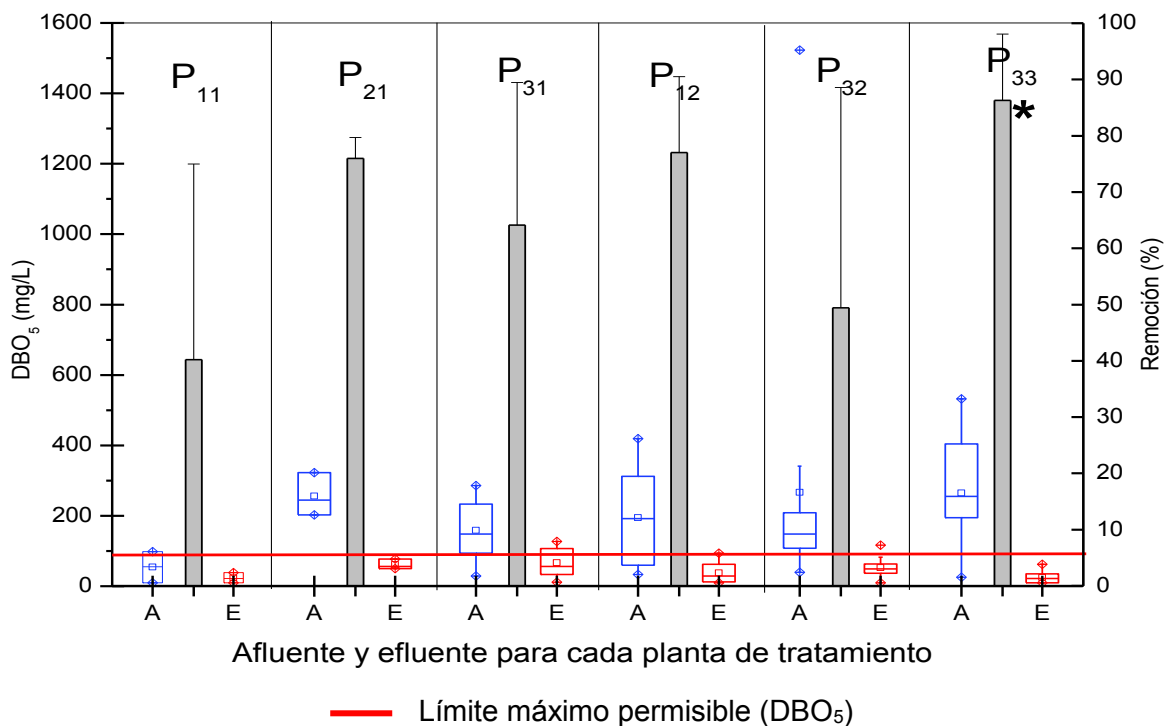


*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.12 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de DBO₅ (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. Según el Anexo 1 del TULSMA (2003), las descargas no deben superar los 100 mg/L, P₃₃ E-IV presenta el mejor escenario de eliminación de DBO₅ obteniendo un valor promedio del 86,3%, cumpliendo con este requerimiento. Cabe señalar que el afluente presenta una alta carga orgánica comparando las concentraciones promedios (medias) de los afluentes de las demás PTARs. En estudios respecto a la operación de un sistema de lodos activados indican eficiencias de eliminación promedio de 80% y con concentraciones promedio en el efluente de 20 mg/L (Vera et al., 2013). En cuanto a la P₂₁ E-IV, evidenció un porcentaje promedio de eliminación del 76%, por debajo del estudio respecto a la eliminación de DBO₅ donde indican que este tipo de sistema (Vermifiltración) alcanza porcentajes entre el 81% y 90% (Arora et al., 2014). La eliminación de DBO₅ puede deberse a la relación de simbiosis entre las lombrices y las bacterias que consumen y aceleran los procesos de descomposición de la materia orgánica (Kumar et al., 2015; Kharwade y Khedlkar, 2011). Con respecto a P₁₁ E-IV y P₁₂ E-IV que presentan humedales de flujo subsuperficial, la degradación de la materia orgánica se da por vía anaerobia ya que la presencia de oxígeno es menor debido a que el sustrato está saturado de agua, generando ambientes anóxicos (Sánchez, 2011; García y Corzo, 2008) sin embargo presentan eficiencias de eliminación promedios del 40 y 77% respectivamente; sin embargo cumplen con el límite permitido de descarga a cuerpo de agua que es 100 mg/L al comparar con las concentraciones promedios del efluente (TULSMA, 2003). En estudios respecto a la eliminación de DBO₅ en humedales construidos se han encontrado eficiencias superiores al 88% (Puigagut et al., 2007; Rojas, 2012). El análisis de varianza determinó que difieren estadísticamente ($p < 0,05$) en la eliminación de este parámetro, estableciendo de forma preliminar que las plantas no se comportan de manera similar en términos de eliminación de DBO₅.

FIGURA 4.12 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA EL ESCENARIO IV



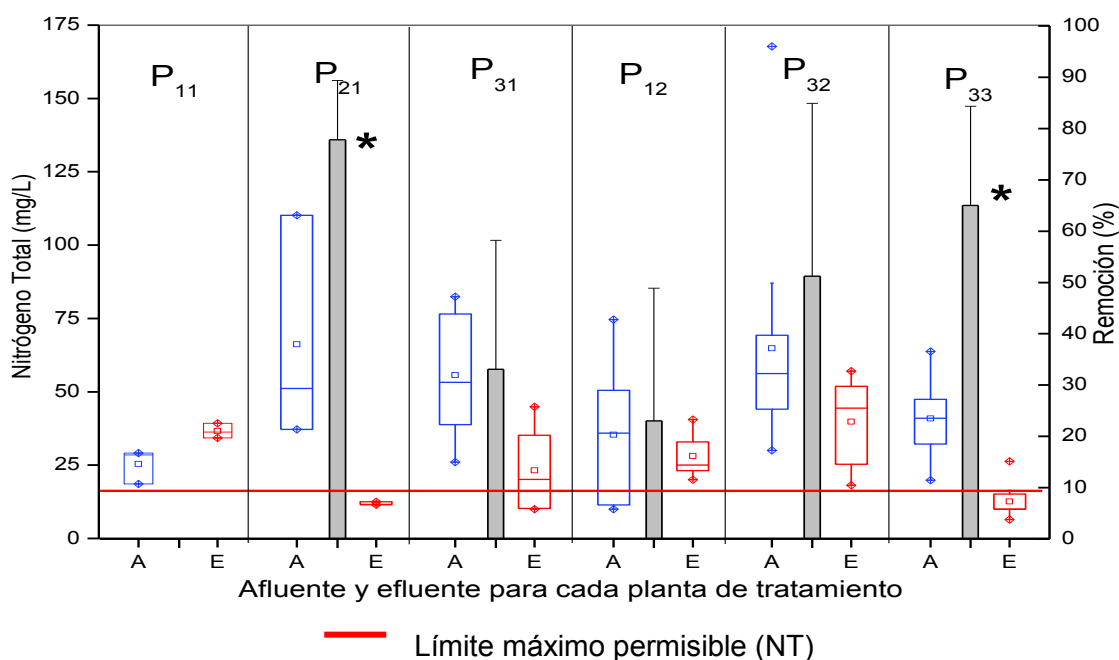
*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.13 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de Nitrógeno Total (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. En sistemas de lodos activados P₃₃ E-IV presenta un porcentaje de eliminación promedio del 65%, estudios indican que se obtuvieron eficiencias de eliminación promedios del 83%; afirma el autor las altas eficiencias se debe a que existe una eliminación de amonio (NH_4^+) (Vera, et al., 2013), y se puede deber a dos maneras: asimilación de algas alcanzando eficiencias del 95% (Horan et al., 2006), y volatilización de amonio a pH superiores de 8.0 obteniendo porcentajes de eliminación del 85% (Rockne y Brezonick, 2006). P₃₁ E-IV y P₃₂ E-IV no cumplen con la normativa ambiental de descarga, comparando las concentraciones promedios (media) están por encima del límite permitido, con eficiencias de eliminación del 33.1 y 51.2% respectivamente. Según la Figura 4.13 para la P₂₁ E-IV presenta una eliminación promedio del 78% de nitrógeno total en este sistema

de tratamiento, cumpliendo con el límite permitido de descarga a cuerpos de agua (15mg/L) (TULSMA, 2003). Resultados publicados muestran porcentajes de eliminación del 56,3% en sistemas de vermifiltración (Wang et al., 2014). La eliminación de nitrógeno puede deberse, a que queda retenido en las capas del medio filtrante y pasa a formar parte de la biomasa microbiana, para la posterior depuración biológica (Velasco, 2015). Según Lou et al. (2010) las lombrices de tierra segregan compuestos que ayudan a la eliminación de este parámetro. Con respecto a la P₁₁ E-IV y P₁₂ E-IV reflejan porcentajes de eficiencias menores al 25% y valores de concentraciones (media) de los efluentes se encuentran por encima del límite permitido de descarga a cuerpos de agua (>15 mg/L), estudios realizados en humedales de flujo sub-superficial muestran porcentajes promedios de eliminación del 39.4% enfocados en aguas domésticas (Plaza de los Reyes et al., 2011). Otros estudios demuestran que mediante la asimilación por las plantas se llega a eliminar del 15 al 20% del nitrógeno presente en las aguas residuales (CENTA, 2010). El análisis de varianza realizado muestra que estadísticamente existen diferencias ($p < 0,05$) en las eficiencias de eliminación. La P₂₁ E-IV y P₃₃ E-IV estadísticamente se diferencian en la eliminación de NT.

FIGURA 4.13 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL PARA EL ESCENARIO IV



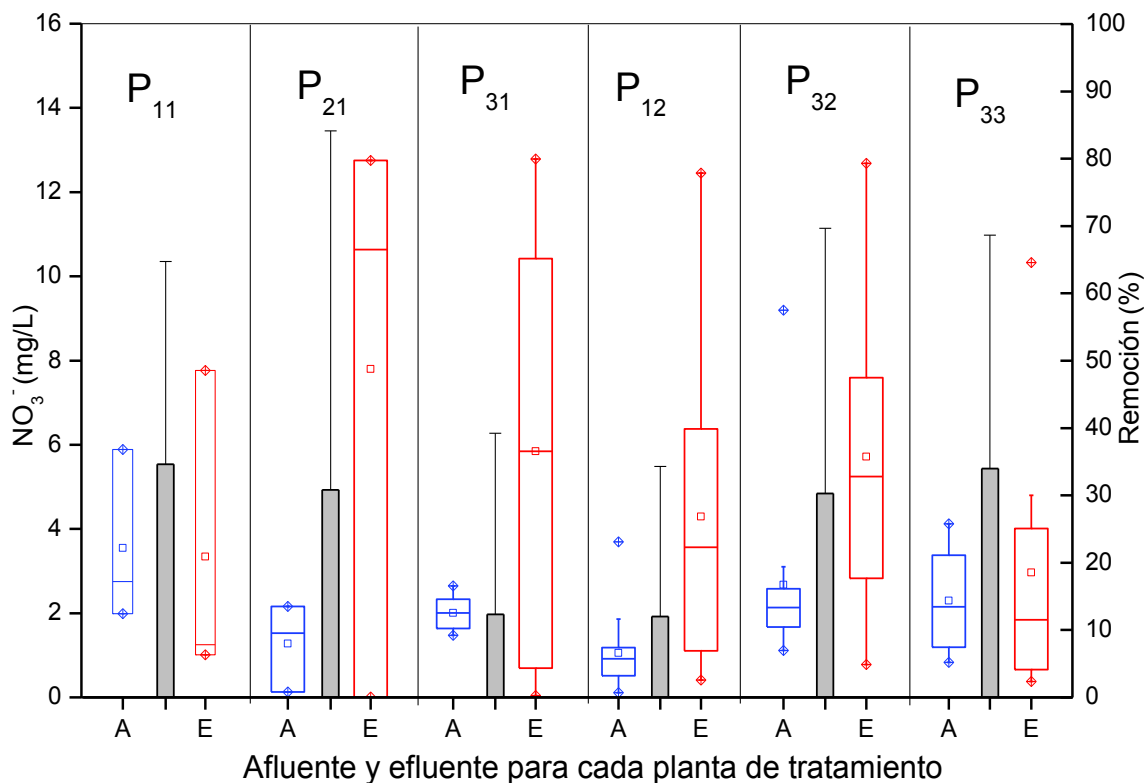
*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.14 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de Nitrato (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. NO_3^- no es normado por el Anexo 1 del TULSMA (2003). P₁₂ E-IV posee una eficiencia promedio de eliminación del 12%, las concentraciones mayores en el efluente; evidencia que existen procesos de nitrificación en los humedales objeto de estudio, según bibliografía los proceso de nitrificación/desnitrificación principal vía de eliminación del nitrógeno amoniacal (CENTA, 2010), o puede deberse a que las plantas tiene una alta actividad fotosintética que permite el aporte de O_2 por las raíces, y el O_2 es aprovechado por las bacterias responsables de transformar el, NH_4^+ a NO_3^- (Villamar et al., 2017). Mientras que P₁₂ E-IV que posee también un humedal artificial en el tratamiento, alcanza una eficiencia del 35%, siendo la máxima eficiencia reportada, demostrando en forma preliminar que ambas tecnologías tienen distinto comportamiento operacional para este parámetro.

En sistemas de lodos activados P₃₃ E-IV con un porcentaje promedio del 34%, es el mejor escenario respecto este sistema convencional de los 3 que existen. En lodos activados existen procesos de nitrificación, para llevar a cabo estas reacciones, existen bacterias especializadas y sensibles a cambios en su medio, y necesitan de un aporte adicional de O_2 de al menos 2 mg/L para poder llevar a cabo dichas reacciones. Mientras que P₃₁ E-IV y P₃₂ E-IV que poseen el mismo sistema de tratamiento antes mencionado, poseen eficiencias promedios de 11.3 y 30.3% respectivamente. Con respecto a la P₂₁ E-IV presenta concentraciones mayores en el efluente con un porcentaje de eliminación promedio de 30.8%, esto puede deberse a procesos de nitrificación en el sistema; se ha demostrado que las lombrices favorecen la nitrificación (conversión del nitrógeno amoniacal en nitratos) (Cervantes, 2012). El análisis de estadístico de varianza determina que no existen diferencias importantes ($p > 0,05$) entre las PTARs referente a la eliminación de Nitratos.

FIGURA 4.14 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRATOS PARA EL ESCENARIO IV



*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las plantas

ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.15 se muestran las variables estadísticas de las concentraciones del afluyente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de Nitrógeno de Amonio (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. NH_4^+ no es normado por el Anexo 1 del TULSMA (2003). El análisis de varianza realizado en las 6 PTARs para los porcentajes de eliminación identifica que existen diferencias importantes ($p < 0,05$) de P₁₁ E-IV y P₁₂ E-IV (humedales construidos) con respecto a las demás PTARs.

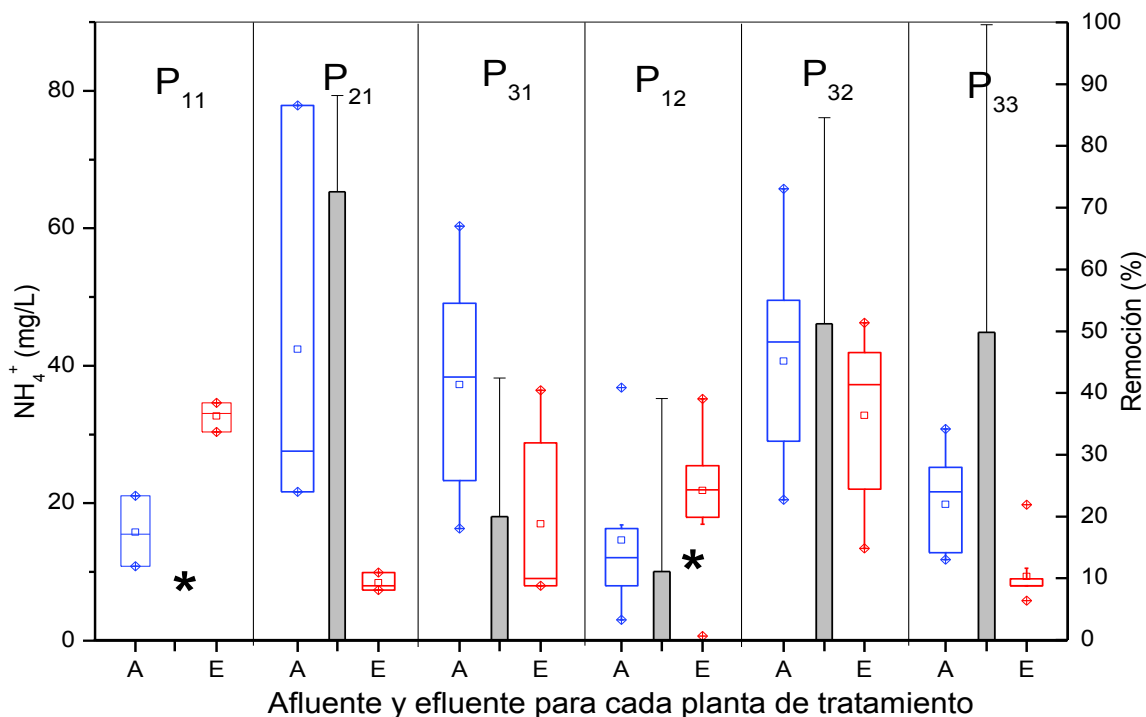
Estas dos plantas poseen rendimientos en la eliminación de este parámetro con valores menores al 15%, diferenciándose de los demás tratamientos como son lodos activados y sistema de vermifiltración. La generación de NH_4^+ en estas plantas (ver Figura 4.15), puede deberse a que en los humedales construidos, una vía para la eliminación de nitrógeno amoniacal es la asimilación por parte de la vegetación

del humedal, sino existe una buena cosecha y mantenimiento del humedal (recolección de la vegetación) la mayor parte de los nutrientes se devuelven al sistema de tratamiento y se refleja en el aumento de las concentraciones en el efluente (CENTA, 2010; Villamar et al., 2017).

Otros estudios, afirman que la nitrificación es el proceso principal de transformación del NH_4^+ a NO_3^- en humedales construidos, siendo necesarios 4,6 mg de O_2 para oxidar 1 mg de NH_4^+ a NO_3^- (García y Corzo, 2008; Vymazal y Kröpfelová, 2008). En humedales de flujo sub-superficial el requerimiento de oxígeno por parte de las bacterias se da por medio de la transferencia de oxígeno por las raíces de las plantas (Hammer, 1989). La P₂₁ E-IV presenta una gran variabilidad en el afluente con una concentración máxima de 77,9 mg/L con un porcentaje de eliminación promedio de 72,6%, al existir nitrificación en el vermifiltro. Se ha demostrado que las lombrices llevan a cabo la eliminación de los nutrientes junto con las bacterias (mutualismo), pero en ambientes óxicos pueden provocar que las bacterias lleven a cabo procesos de oxidación (NH_4^+ a NO_3^-) reflejando ese aumento de las concentraciones de NO_3^- en el efluente (Lou et al., 2010; Villamar et al., 2017).

Existen microorganismos como las nitrosomonas que oxidan el amonio (NH_4^+) a nitritos (NO_2^-) y las nitrobacterias transforman los (NO_2^-) a nitratos (NO_3^-) (Cervantes, 2012). Con respecto a sistemas de tratamiento de lodos activados (P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₃ E-IV) que, existe un aumento en las concentraciones de NO_3^- en el afluente como muestra la Figura 4.14, esto se debe a procesos de nitrificación, y se refleja en los porcentajes de eliminación de NH_4^+ promedio de 20, 51 y 49% respectivamente como se observa en la Figura 4.15.

FIGURA 4.15 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO DE AMONIO PARA EL ESCENARIO IV



*: $p < 0,05$; indica estadísticamente diferencias entre las planta

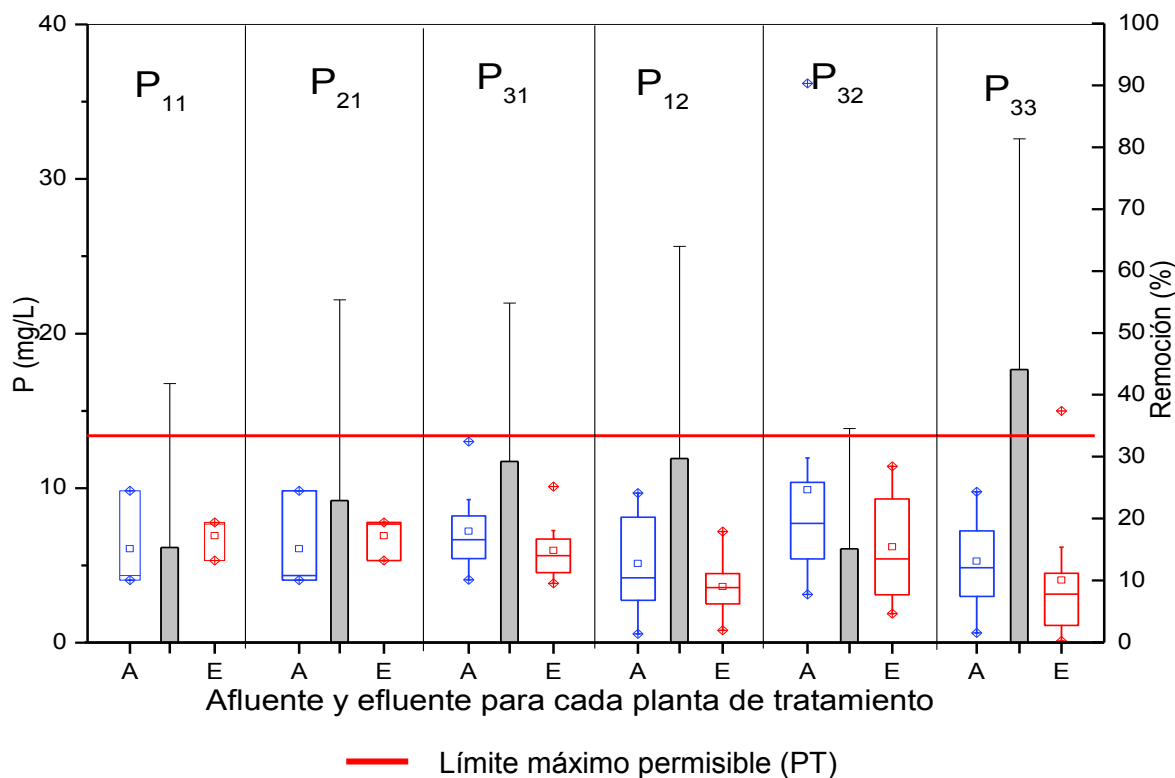
ELABORACIÓN: Javier García

En la Figura 4.16 se presentan las variables estadísticas de las concentraciones del afluente y efluente, así como las eficiencias de eliminación de Fósforo (barras), reportados a lo largo del año 2016 para cada una de las PTARs del escenario IV. El análisis de varianza realizado en las 6 PTARs determina que son similares estadísticamente ($p > 0,05$) en la eliminación de este parámetro, evidenciando de forma preliminar que el comportamiento operacional de las plantas es similar. Según el Anexo 1 del TULSMA (2003), no deben superar los 10 mg/L, P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₃ E-IV (lodos activados) cumplen con este requerimiento las cuales presentan porcentajes promedios de eliminación 29, 15 y 44% respectivamente.

En estudios respecto a la operación de un sistema de lodos activados indican eficiencias de eliminación entre el 10 y 40% (Vera et al., 2011). Para eliminar fosforo en sistemas biológicos se necesita de dos etapas una aerobia y otra anaerobia para favorecer el desarrollo de bacterias específicas, es decir las bacterias utilizan como

fuelle de energía y acumulan dentro de la célula bacteriana y por procesos anaerobios desprenden y posteriormente se extrae como lodo en exceso (Villamar et al., 2017; Charpentier, 2014). Como se ilustra la P₂₁ E-IV presenta una eficiencia de eliminación promedio de 22,9%, además que al comparar la concentración promedio (media) se encuentra por debajo del límite permitido de descarga a cuerpos de agua (<10 mg/L). Estudio enfocados a la eliminación de fósforo total en sistemas de vermifiltración indica eliminación entre un 19,8 y 59,3% (Li et al., 2009). Las eficiencias de eliminación promedio de fósforo total en P₁₁ E-IV y P₁₂ E-IV fueron de 15,3 y 29,7% respectivamente. Vymazal (2005), reporta porcentajes de eliminación de fosforo total en humedales del 32%, mientras que otro estudios reportan eliminación de fosforo no superior al 15% (García et al., 2004). Sin embargo cumplen con LMP establecido por el TUSLMA (2003) para descarga a cuerpos de agua (<10 mg/L).

FIGURA 4.16 AFLUENTE, EFLUENTE Y PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL PARA EL ESCENARIO IV



ELABORACIÓN: Javier García

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPARATIVO RELACIONADO CON EL FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL ENTRE ESCENARIOS DE TRATAMIENTO

La Tabla 4.9 presenta los porcentajes de eliminación promedios de cada escenario de tratamiento. El escenario III presentó los mejores porcentajes promedios de eliminación de ST y SSV con 39,4% y 59,5%. Además el análisis de varianza realizado como se presenta en la Tabla 4.10, determinó que estadísticamente hay diferencias ($p < 0,05$) entre el escenario III y IV con los demás escenarios; en decir, el no tratamiento de estos dos parámetros (ST y SSV) de los escenarios I y II hace que existan diferencias importantes respecto a los escenarios que si los tratan.

En cuanto a la eliminación de materia orgánica, el menor porcentaje promedio de eliminación de DQO registró el escenario I (27%), de igual forma con la DBO₅ con una eficiencia promedio del 26,8%. Mientras que, el mejor escenario de eliminación de materia orgánica promedio fue el del escenario IV, registrando valores promedios del 66,2 y 68,7% de eliminación en DQO y DBO₅, respectivamente. Esto evidencia una vez más, que las tecnologías del escenario I (fosa séptica y tanque Imhoff) no son pensadas en eliminar estos parámetros, determinando que existan diferencias importantes ($p < 0,05$) en el tratamiento de este parámetro entre los escenarios. Respecto a los nutrientes, la máxima eficiencia promedio de eliminación de NT se reportó en el escenario IV, con un valor de 41%, mientras que NO₃⁻ registró un valor promedio de 21,8%. Finalmente, en los parámetros de NH₄⁺ y PT se registró valores de eliminación promedio de 31,2 y 28,9%, todos estos valores reportados en el escenario IV.

Debido a que el escenario IV presenta más etapas en la operación, el tratamiento de los parámetros evaluados mejora, lo que se evidencia en las eficiencias de eliminación. De acuerdo al análisis de varianza, los parámetros antes mencionados muestran diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre el escenario IV respecto al resto. Por lo tanto, a nivel operacional el escenario que mejores ventajas ofrece es el escenario IV.

TABLA 4.9 EFICIENCIAS PROMEDIOS DE ELIMINACIÓN DE CADA PARAMETRO OPERACIONAL

ESCENARIOS	ST [%]	SSV [%]	DQO [%]	DBO ₅ [%]	NT [%]	NO ₃ ⁻ [%]	NH ₄ ⁺ [%]	PT [%]
E-I	12,10	24,25	26,98	26,79	0,69	1,58	2,81	3,29
E-II	17,05	24,48	30,46	28,16	6,91	4,46	0,9	2,65
E-III	39,38	59,43	55,57	51,68	4,82	4,89	7,51	6,02
E-IV	34,59	49,5	66,24	68,73	40,98	21,76	31,2	28,94

: Máximas eficiencias de eliminación

ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 4.10 se muestran los resultados del análisis de varianza a los porcentajes de eficiencias de cada parámetro, analizados por escenarios de tratamiento (4), con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$).

TABLA 4.10 ANÁLISIS DE VARIANZA DE CADA ESCENARIO

ESCENARIOS	ST	SSV	DQO	DBO	NT	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PT
E-I	A	A	A	A	A	A	A	A
E-II	A	A	A	A	A	A	A	A
E-III	*	*	*	*	A	A	A	A
E-IV	*	*	*	*	*	*	*	*
p-valor	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,004	0,0001	0,0001

*; Existe diferencia entre los escenarios de tratamiento por cada parámetro ($p < 0,05$).

Por el contrario, letras en común significa que no hay diferencias entre los escenarios ($p > 0,05$). ELABORACIÓN: Javier García

4.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

4.3.1 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

En la Tabla 4.11 se ilustran los indicadores ambientales: energía consumida, productos químicos, área ocupada de las PTARs, lodos producidos y porcentaje de cumplimiento con respecto al LMP de la Tabla N° 12 del Anexo 1 del TULSMA (2003). El indicador de energía consumida, muestra que las plantas convencionales P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₃ E-IV (lodos activados), tienen un consumo de energía que van desde 63,33 a 70,46 kW-h/hab.año. Otras investigaciones reportan valores de

consumos energéticos similares para lodos activados, que fluctúan entre 22,6 a 59,8 kW-h/hab.año (Fábregas, 2006). Respecto a sistemas de vermifiltración, estudios realizados han obtenido consumos de energía de 12,69 kW-h/hab.año (Arango, 2003). Este valor es 4 veces menor al obtenido para la planta P₂₁ E-IV que tiene un vermifiltro, la cual reporta valores de 55,47 kW-h/hab.año. Es importante destacar, que la planta P₃₁ E-IV (lodo activado + desinfección) presenta un consumo de energía de 65,25 kW-h/hab.año, reflejando que este consumo de energía aumenta un 3% para una población menor (227 hab), respecto a P₃₂ E-IV (lodo activado + desinfección, 63,33 kW-h/hab.año, 360 hab), condición que demuestra que los sistemas convencionales son convenientes a medida que incrementa la población dado por el factor escala.

Respecto al indicador de productos químicos consumidos, el uso de Ca(ClO)₂ fue reportado como el insumo químico más usado en el tratamiento de desinfección en todas las plantas. La planta P₃₁ E-IV (227 hab) presentó un mayor consumo de este insumo con 0,79 kg/hab.año, siendo más de 2 veces el valor obtenido en la P₃₃ E-IV (663 hab) que posee el mismo sistema de tratamiento, esto debido a su mayor población el indicador disminuye, esto demuestra nuevamente el efecto escala en sistemas convencionales.

En zonas rurales, el área implementada para el tratamiento de aguas residuales, influye directamente en el costo del terreno ocupado y sobre el costo de inversión. El área ocupada por habitante servido, en el escenario I en el que existe solo tratamiento primario tuvo una media de 0,32 m²/hab (fosas sépticas y tanques Imhoff). El escenario II, obtuvo una media de 0,91 m²/hab casi 3 veces más que E-I, esto debido a que P₂₁ E-II (Fosa séptica + filtro anaerobio, 133 hab) tiene un área ocupada de 1,13 m²/hab, reflejando que este indicador aumenta para una población reducida condición dada por el efecto escala. El escenario III obtuvo un valor medio de área ocupada de 0,98 m²/hab, similar al escenario II pero alrededor de 3 veces más que el escenario I, esto debido a que tiene pretratamiento requiriendo más área de instalación. Finalmente, para el escenario IV donde existen niveles que van desde pretratamiento incluyendo tratamientos primarios, secundarios y terciarios,

presentan valores que van desde 0,45 a 3,89 m²/hab, este último valor es registrado en P₁₁ E-IV, la cual dispone de un humedal construido. Aunque este valor está por debajo de los registrados en estudios similares que bordean los 8,9 m²/hab, hace que tecnologías no convencionales sean condicionadas a sitios de plusvalía baja como el caso de las zonas rurales (Fábregas, 2006). El sistema de vermifiltración (P₂₁ E-IV) obtuvo un valor de 0,89 m²/hab, ligeramente mayor al reportado por la bibliografía (0,57 m²/hab). Sin embargo, al compararlo con otra tecnología no convencional como humedales construidos puede requerir 3 veces menos de espacio (Arango, 2003).

Los lodos generados en el escenario I alcanzaron un valor medio de 0,14 m³/hab.año. El escenario II presentó valores que van de 0,23 a 0,29 m³/hab.año. Mientras, en el escenario III este valor bordeó los 0,15 m³/hab.año, Finalmente, en el escenario IV se registraron valores de 0,01 m³/hab.año hasta 1,94 m³/hab.año, este último correspondiente a la P₃₁ E-IV (lodo activado). El escenario IV presentó entre 2 a 5 veces más producción de lodos en promedio que los registrados en los demás escenarios, debido a tener sistemas convencionales como lodos activados (3), aunque los valores registrados son estimaciones de estudios similares, con respecto al caudal tratado y población abastecida, debido a que no se posee información de generación de lodos en estas 3 plantas. De esta forma se evidenció que P₃₂ E-IV registró un valor de 1,22 m³/hab.año, este valor está por debajo de estudios similares, donde registró valores promedios de 6 m³/hab.año (Vera et al., 2013). Cabe resaltar, que en este escenario existen sistemas de humedales construidos que presenta valores de generación de lodos promedio de 0,05 m³/hab.año, valor similar al reportado por bibliografía (0,09 m³/hab.año) (Fábregas, 2006) y que al compararlo con tecnologías convencionales como lodos activados (P₃₁, P₃₂, P₃₃) es 7 veces menor. En sistemas de vermifiltración (P₂₁ E-IV) el valor registrado, correspondió a la cantidad de sólidos y material retenido en el pretratamiento y no a la tecnología como tal.

El porcentaje de cumplimiento de la normativa, según los parámetros normados tales como: ST, DQO, DBO₅, NT, PT y descritos en el Anexo 1 del TULSMA (2003),

se describe a continuación. El escenario IV presentó mayores porcentajes de cumplimiento en el número de muestras con un valor medio del 84%, resaltando que la P₂₁ E-IV (cribado + desarenador + vermifiltración + desinfección) posee un 100% de cumplimiento en todos los parámetros normados, aunque sólo tiene información de los 3 últimos meses del año 2016. El escenario I, mostró el menor porcentaje promedio de cumplimiento en el número de muestras sometidas a análisis de los parámetros físico-químicos con un valor medio del 57%. Esto es claramente justificado por la presencia de fosas sépticas y tanque Imhoff, que presentaron en el análisis operativo las menores eficiencias de eliminación. El escenario II registró un valor medio del 64% del total de muestras que cumplen con normativa ambiental. Este escenario cuenta con PTARs que disponen de tanque Imhoff/fosa séptica y filtros anaerobios, por lo que el incremento del cumplimiento está dado por la inclusión de filtros anaerobios al sistema que cumplen la función de eliminar sólidos y materia orgánica. Finalmente, el escenario III mostró un porcentaje de cumplimiento medio del 66%. La principal diferencia en este escenario respecto al anterior es la presencia de pretratamiento, lo que mejora la eliminación de sólidos de gran tamaño pero que no influye en forma importante en otros parámetros. Por lo tanto, estos valores reflejan que al aumentar la cantidad de etapas en el sistema de tratamiento, aumenta el porcentaje de cumplimiento, con respecto a la normativa ambiental aplicable.

TABLA 4.11 INDICADORES AMBIENTALES

Escenario	PTARs	Energía (kW- h/hab.año)	Productos químicos ^a (kg/hab.año)	Área ocupada (m ² /hab)	Lodos (m ³ /hab.año)	Calidad del efluente (%)
E-I	P ₁₁	0	0	0,36	0,15	55,00
	P ₂₁	0	0	0,30	0,14	63,33
	P ₁₂	0	0	0,23	0,15	41,67
	P ₁₃	0	0	0,37	0,13	66,67
E-II	P ₁₁	0	0	0,68	0,24	68,33
	P ₂₁	0	0	1,13	0,29	60,00
E-III	P ₁₁	0	0	1,05	0,13	38,18
	P ₂₁	0	0	0,96	0,16	80,00
E-IV	P ₁₁	0	0	3,89	0,10	80,00
	P ₂₁	55,47	0,58	0,89	0,01	100,00
	P ₃₁	65,27	0,79	1,10	1,94 ^b	72,50

Escenario	PTARs	Energía (kW-h/hab.año)	Productos químicos ^a (kg/hab.año)	Área ocupada (m ² /hab)	Lodos (m ³ /hab.año)	Calidad del efluente (%)
	P ₁₂	0	0,37	1,23	0,05	80,00
	P ₃₂	63,33	0,50	0,83	1,22 ^b	75,00
	P ₃₃	70,46	0,36	0,45	0,66 ^b	92,00

^a: producto químico utilizado para la desinfección: Hipoclorito de Calcio (Ca(ClO)₂)

^b: Estimación de lodos generados para sistemas biológicos (P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₁ E-IV).

Rojas K. , (2012); Vera et al., (2013)

FUENTE: EPMAPS (2017), INEC (2010), TULSMA (2003).ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 4.12 se encuentra los resultados de análisis de varianza a los indicadores ambientales, analizados por escenarios de tratamiento (4), con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$). Es importante mencionar, que para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó análisis de varianza no paramétrica (Test de Kruskal Wallis). Al realizar el análisis de varianza, para el indicador energía consumida muestra que estadísticamente es diferente ($p < 0,05$) el E-IV con los demás escenarios de tratamiento, debido a que esta categoría incluye sistemas convencionales (lodos activados) y un sistema de vermifiltración, permitiendo elevar el valor de este indicador. Mientras que, el indicador de consumo productos químicos determinó según el análisis de varianza, que no difieren estadísticamente ($p > 0,05$), pero hay que resaltar, el E-IV, posee tratamiento de desinfección, que demanda el uso de (Ca(ClO)₂), en realidad si difieren en el uso de este químico y este indicador está relacionado con mayores costos asociados en la operación y mantenimiento de las PTARs. El análisis de varianza realizado al indicador, reflejó que los escenarios difieren estadísticamente ($p < 0,05$) en la ocupación de una área determinada, del escenario I con los demás escenarios, debido a que este escenario considera PTARs que tienen sólo una unidad de tratamiento primario (Fosa Séptica o Tanque Imhoff), haciendo que el valor del sea menor, debido a que las dimensiones son más pequeñas, comparando con otros escenarios que poseen más unidades o utilizan tratamiento de aguas residuales en zonas extensivas (humedales construidos; E-IV). El análisis de varianza realizado al indicador lodos generados, evidenció que la probabilidad exacta ($p 0,7083$) de que los escenarios sean parecidos en el indicador mencionado es alta. Aunque el análisis estadístico

muestra que los escenarios sean similares estadísticamente en la generación de lodos, el escenario IV, evidenció mayores valores de este indicador, debido a que en esta categoría están clasificados sistemas convencionales (lodos activados) que elevan en magnitud dicho valor. Aunque hay plantas con sistemas no convencionales como vermifiltros y humedales construidos sistemas que la generación de lodos es baja en relación a los otros sistemas. Finalmente, para el indicador de calidad del efluente, el análisis de varianza determinó que el porcentaje de cumplimiento a la normativa, no difieren estadísticamente ($p > 0,05$), resultado que indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis que los escenarios en términos de cumplimiento de la normativa se comporten de manera similar; Aunque la prueba estadística indico el cumplimiento a la normativa entre escenarios es similar, el escenario IV, presento en promedio un 83% de cumplimiento, por encima a los demás escenarios, siendo el mejor.

TABLA 4.12 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

FACTORES	INDICADORES AMBIENTALES				
	Energía consumida (kW-h/hab.año)	Productos químicos (kg/hab.año)	Área ocupada (m ² /hab)	Cantidad de lodos generados (m ³ /hab.año)	Calidad del efluente (%)
E-I	A	A	*	A	A
E-II	A	A	A	A	A
E-III	A	A	A	A	A
E-IV	*	*	A	A	A
p-valor	0,0423	0,0523	0,0452	0,7083	0,0507

*; Existe diferencia entre los escenarios de tratamiento por cada indicador ambiental ($p < 0,05$). Por el contrario, letras en común significa que no hay diferencias entre los escenarios ($p > 0,05$).

ELABORACIÓN: Javier García

4.3.2 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES ECONÓMICOS

En la Tabla 4.13 se presentan las especificaciones y consideraciones de costos de energía, costos de operación y mantenimiento de cada una de las PTARs. El

escenario IV presentó los mayores costos de consumo de energía eléctrica con un valor promedio de 1497,5 USD/año, de igual manera con el costo de adquisición de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ para los procesos de desinfección con valor promedio de 592 USD/año.

En cuanto a los costos de movilización de los operadores, existieron mayores costos asociados en la movilización hacia las PTARs del escenario IV, indicando un valor promedio de 867,3 USD/año. Esta condición se debe a que dichas plantas se encuentran más alejadas desde la matriz de la EPMAPS hasta el punto de llegada, considerando el número de visitas promedio y el consumo de gasolina de los vehículos utilizados específicamente en la operación de las PTARs. Sin dejar esta tendencia el escenario IV presentó mayores costos en salarios de los operadores y personal encargado de las PTARs, ya que la mayoría de ellas, son sistemas convencionales, y es necesario el requerimiento de personal de turno las 24 horas del día. Por lo antes mencionado, se puede establecer que los escenarios I, II y III no requirieron de costos energéticos y de insumos químicos. Mientras, los costos asociados con movilización (2 veces) y operación (3 veces) del escenario IV fueron mayores al resto de escenarios.

TABLA 4.13 CONSIDERACIONES OPERATIVAS Y ECONÓMICAS DE LAS PTARs PARA LA ELABORACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS

Escenario	PTARs	Costo operación y mantenimiento (USD/año)			
		Energía Eléctrica	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Movilización	Operadores
E-I	P ₁₁	0	0	284,16	9239,73
	P ₂₁	0	0	355,22	9346,27
	P ₁₂	0	0	497,28	9346,29
	P ₁₃	0	0	532,80	9346,29
E-II	P ₁₁	0	0	259,84	7798,76
	P ₂₁	0	0	639,36	7536,00
E-III	P ₁₁	0	0	292,08	7748,76
	P ₂₁	0	0	994,56	9243,96
E-IV	P ₁₁	0	0	928,00	9203,96
	P ₂₁	1401	625	710,40	21144,69
	P ₃₁	1332	675	888,00	30106,69
	P ₁₂	0	675	760,40	11648,69
	P ₃₂	2050	675	1065,06	35912,83
	P ₃₃	4202	900	852,48	48239,03

FUENTE: EPMAPS (2017). ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 4.14 se ilustran los indicadores económicos: costos de inversión y costos de operación y mantenimiento. Al comparar los costos de inversión por habitante entre los diferentes escenarios de tratamiento, el escenario IV es el que mayores costos en estos rubros tuvieron un valor promedio de 259,6 USD/hab. Los costos asociados a este escenario tienen relación con el uso de equipos electromecánicos e instalaciones eléctricas, referente a sistemas biológicos. P₃₁ E-IV (lodo activado) presenta el mayor valor promedio de costo de inversión con 467,9 USD/hab, reflejando que este costo aumenta para una población reducida (227 habitantes) y que refiere la influencia del efecto escala. Plantas similares como P₃₂ E-IV (360 hab) y P₃₃ E-IV (663 hab), poseen valores de 203,34 y 139,81 USD/hab respectivamente. Estos valores calculados están muy por encima a los registrados por Vera et al. (2013), quienes reportan valores entre 65 y 200 USD/hab. Esta condición puede ser debido a los costos asociados a las remuneraciones, ya que estas plantas (sistemas biológicos) poseen operadores fijos, que cumplen horarios rotativos de trabajo, como se evidencia en la Tabla 4.13. La planta que cuenta con humedal construido reportó valores de 260,47 USD/hab (P₁₁ E-IV), que es similar al reportado por la bibliografía (294 USD/hab) como costos de inversión (Fábregas, 2006).

El escenario I refleja un menor costo de inversión por habitante con un valor medio de 36,68 USD/hab, porque en este tipo de tratamientos sólo se cuentan los costos de construcción o inversión (instalación de fosas sépticas o tanques Imhoff). En cuanto al escenario II, el valor promedio de este indicador fue de 98,22 USD/hab. Con respecto al escenario III, en donde se encuentran PTARs con 3 etapas de tratamiento el valor medio obtenido fue de 82,37 USD/hab. Esto demuestra, que los costos de inversión no son influyentes en las primeras del tratamiento, al comparar los costos del escenario III con el II.

Al comparar los costos de operación y mantenimiento de los diferentes escenarios, se pudo observar que el escenario IV posee valores que van desde 26,83 hasta 145,59 USD/hab.año, lo que denota la influencia de los costos de las tecnologías en función del tamaño de la población. Por ejemplo, PTARs como la P₃₃ E-IV (lodos

activados) registran un valor de 81,78 USD/hab.año con una población de 663 habitantes; valor que es 6 veces mayor al reportado en bibliografía con un costo alrededor de 14 USD/hab.año (Vera et al., 2013). En sistema de humedales construidos como P₁₁ E-IV (154 hab) y P₁₂ E-IV (448 hab), los valores fueron de 65,62 y 26,83 USD/hab.año, respectivamente.

En sistemas no convencionales como humedales construidos también la población servida tiene directa influencia sobre los costos. Al respecto, en estudios donde se operan con humedales construidos se han registrado valores de 65,74 USD/hab.año, similares a los obtenidos en este estudio para poblaciones pequeñas. Hay que recalcar que este escenario en general, presenta más costos asociados con consumo de energía eléctrica, costos de uso de Ca(ClO)₂, movilización y salarios a los operadores fijos que trabajan en turnos rotativos, lo que no sucede con las demás PTARs. Como se observa en la Tabla 4.13 el mayor aporte a este indicador en términos de costos son las remuneraciones a los operadores. El escenario I presentó menores costos de operación y mantenimiento, en promedio de 29,66 USD/hab.año, debido a que no requieren de operadores fijos, lo que hace que los costos asociados a salarios disminuyan el indicador.

TABLA 4.14 INDICADORES ECONÓMICOS

Escenario	PTARs	Inversión (USD/hab)	Operación y mantenimiento (USD/hab.año)
E-I	P ₁₁	29,80	34,56
	P ₂₁	26,91	29,42
	P ₁₂	25,51	30,58
	P ₁₃	64,51	24,07
E-II	P ₁₁	60,60	55,04
	P ₂₁	135,84	61,63
E-III	P ₁₁	43,17	42,27
	P ₂₁	121,56	65,51
E-IV	P ₁₁	260,47	65,62
	P ₂₁	366,81	82,59
	P ₃₁	467,88	145,59
	P ₁₂	119,46	26,83
	P ₃₂	203,34	110,40
	P ₃₃	139,81	81,78

FUENTE: EPMAPS (2017)

ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 4.15 se encuentran los resultados de análisis de varianza a los indicadores económicos, analizados por escenarios de tratamiento (4), con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$). Es importante destacar, que para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó análisis de varianza no paramétrica (Test de Kruskal Wallis). El resultado del análisis de varianza para el indicador costo de inversión mostró que estadísticamente son diferentes entre el escenario I y los demás escenarios, por lo que evidencia que este escenario al poseer tecnologías como fosas sépticas y tanques Imhoff, los costos asociados a la construcción, son mucho menores a los demás escenarios que poseen tecnologías con más etapas involucradas.

Respecto, al indicador de costo de operación y mantenimiento, el análisis de varianza reflejó que no difieren estadísticamente ($p >0,05$) entre los diferentes escenarios de tratamiento. Aunque estadísticamente indique que no hay diferencias entre los escenarios, las plantas del escenario IV en costos de O/M fueron 3 veces en promedio mayor a los costos de las plantas del escenario I; es decir, hay diferencias de instalar plantas del escenario IV como sistemas de lodos activados.

TABLA 4.15 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES ECONÓMICOS

FACTORES	INDICADORES ECONÓMICOS	
	Costo de inversión (USD/hab)	Costo de operación y mantenimiento (USD/hab.año)
E-I	*	A
E-II	A	A
E-III	A	A
E-IV	A	A
p-valor	0,0231	0,0758

*; Existen diferencias entre los escenarios por cada indicador económico ($p < 0,05$). Por lo contrario letras en común significa que no hay diferencias entre los diferentes escenarios ($p > 0,05$).

ELABORACIÓN: Javier García

4.3.3 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES SOCIALES

En la Tabla 4.16 se ilustran los indicadores sociales: porcentaje de población servida y densidad poblacional de cada una de las parroquias rurales del DMQ en que las PTARs se encuentran ubicadas. Para el indicador de porcentaje de población servida, al ser poblaciones rurales muy pequeñas, los proyectos fueron diseñados para cubrir a toda la población. Cabe señalar que no se realizó cálculos, y no hay información sobre el porcentaje de la población servida, por lo que se optó en realizar consultas directas a los empleados y directivos encargados de los diseños y de la construcción de las PTARs, realizando aproximaciones del porcentaje de la población servida, por lo que se considera que estos valores no son representativos, ya que no refleja la verdadera situación de servicio a la población. Siendo una aproximación el escenario II y III, presentó 100% de cobertura a los barrios que sirven estas plantas, mientras que, el escenario IV con porcentajes que van del 80 al 100% de servicio al barrio, siendo el más bajo de los 4.

Podría suponerse que el acceso a estos barrios rurales dificulta la implementación de redes que conduzcan el agua residual a las plantas, como se evidenció en las visitas técnicas realizadas. Respecto al indicador de densidad poblacional, se pudo observar una relación directa con el porcentaje de cobertura que alcanzan las PTARs (Rojas, 2012). Los valores descritos en la Tabla 4.16 son las densidades poblacionales a nivel parroquial, por ende no identifican las características territoriales reales a nivel barrial donde dan el servicio las PTARs. Recalcando a ser una aproximación del indicador, el escenario IV obtuvo un valor medio de 112,66 hab/km² esto debido a que el cantón Pacto posee una alta densidad poblacional (271,64 hab/km²), comparando los demás cantones, la alta concentración de habitantes, demanda de mayores recursos a la población (servicio básicos, educación, etc), el escenario III presentó un valor medio de 26,29 hab/km² muy similar al escenario II (39,64 hab/km²) pero 2 veces menor al escenario I (64,62 hab/km²), por lo que, elegir la ubicación de la PTAR, tipo de sistema y capacidad de tratamiento, debe estar en función del tamaño de la población a servir Debido

a la poca disponibilidad de información que se tuvo acceso, estos indicadores no representan la calidad real del servicio, sino una aproximación.

TABLA 4.16 INDICADORES SOCIALES

Escenario	PTARs	Población servida	
		Población total (%)	Densidad poblacional (hab/km ²)
E-I	P ₁₁	100	36,58
	P ₂₁	100	36,58
	P ₁₂	90	92,66
	P ₁₃	100	92,66
E-II	P ₁₁	100	36,58
	P ₂₁	100	42,69
E-III	P ₁₁	100	36,58
	P ₂₁	100	16
E-IV	P ₁₁	100	16
	P ₂₁	100	92,66
	P ₃₁	80	16
	P ₁₂	80	271,64
	P ₃₂	100	271,64
	P ₃₃	100	8

FUENTE: EPMAPS (2017), GPS (2012), GPN (2012), GPP (2012), GPPintag (2012), GPPúellaro (2012), GPSJM (2012)

ELABORACIÓN: Javier García

En la Tabla 4.17 se muestran los resultados de análisis de varianza a los indicadores sociales, analizados por escenarios de tratamiento (4), con un nivel de significancia ($\alpha=0,05$). Es importante mencionar, que para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó análisis de varianza no paramétrica (Test de Kruskal Wallis). Para el indicador de porcentaje de población servida, determinó que la probabilidad exacta ($p=0,7334$) de que los escenarios se comporten de manera similar es alta, ya que presentan valores de porcentajes altos mayores al 80% de cobertura de servicio. Respecto al indicador de densidad poblacional el análisis de varianza determinó que estadísticamente no hay diferencias entre los escenarios.

TABLA 4.17 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INDICADORES SOCIALES

FACTORES	INDICADORES SOCIALES	
	Población servida (%)	Densidad poblacional (hab/km ²)
E-I	A	A
E-II	A	A
E-III	A	A
E-IV	A	A
p-valor	0,7334	0,6444

Letras en común significa que no hay diferencias entre los diferentes escenarios ($p > 0,05$).

ELABORACIÓN: Javier García

4.3.4 DISCUSIÓN

Luego de haber realizado el análisis previo y lograr determinar el escenario o tipología que ofrece las mejores condiciones, agrupando criterios de operación (porcentajes de eficiencia de eliminación) y de sustentabilidad (ambiental, económico y social), se realizó una categorización en porcentaje de las eficiencias de eliminación para cada parámetro físico-químico e indicadores de sustentabilidad, obtenidos de cada una de las PTARs y se colocó colores para una mejor visualización que permita identificar y comparar de forma integral con los dos criterios mencionados, que planta ofrece un mejor desempeño operacional y de sustentabilidad. La Tabla 4.18 muestra los porcentajes según la categorización realizada, además se programó un rango de colores, donde se estableció que mejores condiciones de operación sean mayores al 50% (color verde), menores al valor señalado peores condiciones (color rojo).

TABLA 4.18 CATEGORIZACIÓN DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN (%) DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

ID-PTARS	EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN (%)							
	ST	SSV	DQO	DBO ₅	NT	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PT
P ₁₁ E-I	31	0	33	35	0	0	0	0
P ₂₁ E-I	34	44	48	36	2	7	5	14
P ₁₂ E-I	9	9	22	15	0	8	7	0

ID-PTARS	EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN (%)							
	ST	SSV	DQO	DBO ₅	NT	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PT
P ₁₃ E-I	31	49	35	36	0	0	0	8
P ₁₁ E-II	38	49	60	52	6	14	2	4
P ₂₁ E-II	32	20	18	14	11	10	0	7
P ₁₁ E-III	61	68	57	42	7	11	8	9
P ₂₁ E-III	100	100	85	77	5	17	13	18
P ₁₁ E-IV	40	30	93	47	0	100	0	35
P ₂₁ E-IV	19	94	98	88	100	89	100	52
P ₃₁ E-IV	78	75	85	74	43	36	28	66
P ₁₂ E-IV	96	81	93	89	30	35	15	67
P ₃₂ E-IV	26	53	48	57	66	88	71	34
P ₃₃ E-IV	93	73	100	100	84	98	69	100

Degrade rojo: peores condiciones, degrade verde: mejores condiciones

ELABORACIÓN: Javier García

De la misma manera, se aplicó el criterio de categorización en porcentajes de los IS. La Tabla 4.19 muestra los porcentajes según la categorización realizada, en la que mejores criterios de sustentabilidad (menor área ocupada, bajo o nulo consumo de energía, bajos costos de operación y mantenimiento, etc.) donde menor al 50% ofrecen en promedio mejores condiciones resaltados en degrade de color verde. Todo lo contrario a este criterio, se resaltó con color rojo. Adicional en los indicadores, porcentaje de calidad del efluente y población servida, el criterio es distinto, es decir mejores condiciones (>50%) se resaltó de color verde, caso contrario de color rojo.

TABLA 4.19 CATEGORIZACIÓN EN PORCENTAJES DE LOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

ID-PTARS	INDICADORES AMBIENTALES					INDICADORES ECONÓMICOS		INDICADORES SOCIALES	
	EC (%)	CPQ (%)	AO (%)	LG (%)	CE (%)	CI (%)	CO/M (%)	PS (%)	DP (%)
P ₁₁ E-I	0	0	9	8	55	6	24	100	13
P ₂₁ E-I	0	0	8	7	63	6	20	100	13
P ₁₂ E-I	0	0	6	8	42	5	21	90	34
P ₁₃ E-I	0	0	10	7	67	14	17	100	34
P ₁₁ E-II	0	0	17	12	68	13	38	100	13
P ₂₁ E-II	0	0	29	15	60	29	42	100	16
P ₁₁ E-III	0	0	27	7	38	9	29	100	13

ID-PTARS	INDICADORES AMBIENTALES					INDICADORES ECONÓMICOS		INDICADORES SOCIALES	
	EC (%)	CPQ (%)	AO (%)	LG (%)	CE (%)	CI (%)	CO/M (%)	PS (%)	DP (%)
P ₂₁ E-III	0	0	25	8	80	26	45	100	6
P ₁₁ E-IV	0	0	100	5	80	56	45	100	6
P ₂₁ E-IV	79	73	23	1	100	78	57	100	34
P ₃₁ E-IV	93	100	28	100	73	100	100	80	6
P ₁₂ E-IV	0	47	32	3	80	26	18	80	100
P ₃₂ E-IV	90	63	21	63	75	43	76	100	100
P ₃₃ E-IV	100	46	12	34	92	30	56	100	3

Degrade rojo: peores condiciones, degrade verde: mejores condiciones

Indicadores Ambientales (**EC**: Energía Consumida, **CPQ**: Consumo de productos Químicos), **AO**: Área Ocupada, **LG**: Lodos Generados, **CE**: Calidad del Efluente), Indicadores Económicos (**CI**: Costo de Inversión, **CO/M**: Costo de Operación y Mantenimiento), Indicadores Sociales (**PS**: Población Servida, **DP**: Densidad Poblacional).

ELABORACIÓN: Javier García

Luego de realizado el cálculo, la Tabla 4.20 resume en porcentajes de condiciones idóneas de eficiencias de eliminación y de IS para cada PTARs. De esta manera poder inferir según los dos criterios propuestos, desempeño operacional y sustentabilidad, cual(es) son las mejores tipologías de tratamiento. Este análisis reflejó que existen dos configuraciones que unen estos dos criterios, y permiten determinar las mejores tipologías de tratamiento, La P₂₁ E-III que reúne un 50% en promedio de condición idónea en el desempeño operacional, es decir que las eficiencias de eliminación están por encima del promedio establecido. Además de cumplir con criterios de sustentabilidad con un 88,9%, lo que reflejó que en la mayoría de los indicadores presentó mejores condiciones. La PTAR correspondió a unidades de tratamiento de cribado, desarenador, fosa séptica y filtro anaerobio de flujo ascendente. La otra planta que cumplió con los dos criterios establecidos fue P₁₂ E-IV, reuniendo condiciones ideales en la operación (62,5%), evidenció valores elevados de eliminación de todos los parámetros físico químicos analizados en comparación a las demás PTARs. Mientras que, en el ámbito de la sustentabilidad reflejó condiciones positivas, reuniendo criterios ambientales, económicos y sociales. Esta planta pertenece a Ingapi, que en su configuración de tratamiento posee: cribado, fosa séptica, humedal construido y desinfección

(Ca(ClO)₂). Caso contrario sucede con las plantas P₁₂ E-I y P₂₁ E-II, debido a su bajo desempeño operacional, hace poner más énfasis en el manejo y operación de estas plantas. En el escenario IV, en la que están categorizadas sistemas biológicos (lodos activados), se vio que tienen altos porcentajes en condiciones idóneas de operación. En el ámbito de la sustentabilidad, sucede todo lo contrario, presentan bajos niveles en este criterio, es decir sus altos consumos de energía y productos químicos, mayores valores en generación de lodos, costos de inversión, operación y mantenimiento elevados en comparación a las demás plantas, determinando que no son la mejor tipología de tratamiento (P₃₁ E-IV, P₃₂ E-IV y P₃₃ E-IV). En varios casos, el escalamiento de economía demostró que sobretodo este tipo de PTARs son más convenientes a medida que la población servida aumenta.

TABLA 4.20 CATEGORIZACIÓN EN PORCENTAJES DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN E INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

ID PTARs	Operación (Eficiencia de eliminación)		IS	
	Condición positiva (%)	Condición negativa (%)	Condición positiva (%)	Condición negativa (%)
P ₁₁ E-I	0,0	100,0	88,9	11,1
P ₂₁ E-I	25,0	75,0	88,9	11,1
P ₁₂ E-I	0,0	100,0	77,8	22,2
P ₁₃ E-I	12,5	87,5	77,8	22,2
P ₁₁ E-II	37,5	62,5	77,8	22,2
P ₂₁ E-II	0,0	100,0	77,8	22,2
P ₁₁ E-III	37,5	62,5	88,9	11,1
P ₂₁ E-III	50,0	50,0	88,9	11,1
P ₁₁ E-IV	37,5	62,5	66,7	33,3
P ₂₁ E-IV	87,5	12,5	44,4	33,3
P ₃₁ E-IV	62,5	37,5	33,3	33,3
P ₁₂ E-IV	62,5	37,5	55,6	33,3
P ₃₂ E-IV	75,0	25,0	33,3	33,3
P ₃₃ E-IV	100,0	0,0	44,4	33,3

Mejor tipología de tratamiento

ELABORACIÓN: Javier García

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Dentro de Escenario I (tratamiento primario: fosa séptica y tanque Imhoff), los porcentajes de ST y SSV removidos estuvieron en el orden del 4,3 al 16,5% y 0 al 34,4, respectivamente. No obstante, estas eficiencias les permiten cumplir para estos parámetros con la normativa ambiental de descarga a cuerpos de agua establecidas en la tabla 12 del Anexo 1 del TULSMA y mostraron un comportamiento operacional similar. En términos de los indicadores ambientales, las PTARs de este escenario mostraron ser las que menos espacio requieren (0,32 m²/hab) y menor cantidad de lodo generan (0,14 m³/hab.año); no obstante, sólo alcanzan un 57% de cumplimiento a la normativa. Desde el punto de vista económico, este tipo de escenarios de tratamiento ofrece los menores costos de inversión (36,68 USD/hab) y de operación y mantenimiento (30 USD/hab.año) Finalmente desde una perspectiva social, este escenario brinda importantes porcentajes de servicio a la población (98%) y la más alta cobertura (64,62 hab/m²).
- El Escenario II (tratamiento primario + secundario: fosa séptica/tanque Imhoff + filtro anaerobio), donde las PTARs presentan 2 etapas de tratamiento, reportó eficiencias de eliminación de ST y SSV del 15,6 al 18,5% y del 14,3 y 34,6%, respectivamente. Mientras, la eliminación de materia orgánica fue relevante sólo para la P₁₁ E-II (tanque Imhoff + filtro anaerobio) con valores promedio del 47 y 44% en DQO y DBO₅, respectivamente. Por lo tanto, sólo P₁₁ E-II dentro de este escenario cumplen con los LMP de descarga a cuerpos de agua. Esta condición, demuestra que la operación de éstas PTARs es estadísticamente distinta a pesar de tener similares tecnologías, por lo que factores como calidad del afluente, ubicación o la falta de mantenimiento en la PTAR (P₂₁ E-II, fosa séptica + filtro anaerobio) estarían influenciando su comportamiento. Desde el punto de vista ambiental, las PTARs de este

escenario requieren áreas promedio de $0,91 \text{ m}^2/\text{hab}$, generando alrededor de $0,27 \text{ m}^3/\text{hab.año}$ de lodo, condiciones que no evitan que el efluente cumpla con los parámetros normados llegando sólo a un 64% de cumplimiento. Desde el punto de vista económico, las PTARs de este escenario requieren 2 veces menos inversión ($98,22 \text{ USD}/\text{hab}$) que escenarios donde existen todas las etapas de tratamiento (escenario IV) El costo de O/M con un valor promedio de $58,34 \text{ USD}/\text{hab.año}$, Al final con los indicadores sociales, la población servida registró un valor promedio 100% de cobertura, y $39,64 \text{ hab}/\text{m}^2$ como densidad poblacional promedio para este escenario.

- En cuanto al Escenario III (pretratamiento + tratamiento primario + secundario: cribado/desarenador + fosa séptica + filtro anaerobio) donde se categorizó 2 PTARs, en eliminación de sólidos estuvieron entre 29,7 y 49% de ST y 47,8 y 70,1% respecto a SSV. Siendo la P₂₁ E-III (cribado + desarenador+ fosa séptica + filtro anaerobio) presentando un mejor desempeño operacional; siendo estas eficiencias permitir el cumplimiento de la normativa de descarga a cuerpos de agua según el TULSMA. Para la eliminación de materia orgánica, presenta porcentajes de eliminación promedio de DQO entre 44,4 y 65,8% y DBO₅ de 36 hasta 66,1% de eliminación; Por lo tanto, P₁₁ E-III (cribado + fosa séptica + filtro anaerobio) no cumple con los límites permitidos de descarga, según el Anexo 1 del TULSMA. En términos de indicadores ambientales, en promedio estas plantas necesitan un área de $1,01 \text{ m}^2/\text{hab}$, hace evidenciar que al aumentar más unidades de tratamiento, mayor es el área que debe utilizarse; generando lodos alrededor de $0,15 \text{ m}^3/\text{hab.año}$; alcanzando un porcentaje de cumplimiento del 59%. Respecto a los indicadores económicos establecidos, el costo de inversión en este escenario obtuvo un valor promedio de $82,37 \text{ USD}/\text{hab}$, siendo 3 veces menos inversión respecto al escenario (escenario IV) mientras que, el costo de O/M reflejó un resultado de $53,89 \text{ USD}/\text{hab.año}$. Finalmente en el ámbito social, reflejó que el servicio de tratamiento es del 100% de cobertura y respecto a la densidad poblacional un valor promedio del $26,29 \text{ m}^2/\text{hab}$, siendo este el valor más bajo respecto a los demás escenarios.

- Dentro del Escenario IV (pretratamiento + tratamiento primario + secundario + terciario: cribado/desarenador + fosa séptica/tanque Imhoff + filtro anaerobio/sistema biológico/humedal construido/vermifiltro + desinfección) categorizadas 6 PTARs, los porcentajes de eliminación de ST y SSV estuvieron entre el 9,4 y 47% y entre 21,3 y 56,7% respectivamente; en cuanto a la eliminación de materia orgánica, se registran valores de eficiencias entre 37,6 y 77,8% en términos de DQO y DBO₅ entre 40,2 y 86,3%, estas eficiencias permiten cumplir para estos parámetros con la normativa ambiental de descarga según el Anexo 1 del TULSMA. Con respecto a la eliminación de NT, fue relevante en las plantas P₂₁ E-IV (cribado + desarenador + vermifiltro + desinfección) y P₃₃ E-IV (cribado + desarenador + tanque de sedimentación + sistema biológico + desinfección) con valores promedios de 77,8 y 65% respectivamente; para la eliminación de PT, se reportan eficiencias promedios de depuración entre el 15,1 y 44,1%, sin embargo estas eficiencias permiten el cumplimiento de la normativa ambiental según el TULSMA. Desde el punto de vista ambiental, las PTARs de este escenario son las que más espacio requieren en promedio 1,40 m²/hab, generando mayor cantidad de lodos en promedio de 0,66 m³/hab.año, consumiendo energía eléctrica en promedio de 42,42 kW-h/hab.año, alcanzando un porcentaje de 83% de cumplimiento. En términos de indicadores económicos, las PTARs de este escenario requieren mayores costos de inversión (259,63 USD/hab) y O/M (85,47 USD/hab.año) respecto a otros escenarios. Finalmente desde una perspectiva social, este escenario brinda el 93% de cobertura a la población.
- Según los resultados obtenidos, las mejores tipologías de tratamiento son las P₂₁ E-III (cribado + desarenador + fosa séptica + filtro anaerobio) y P₁₂ E-IV (cribado + fosa séptica + humedal construido + desinfección), debido a cumplen con los dos criterios previamente establecidos: mejores rendimientos operacionales en términos de porcentaje de eliminación y niveles idóneos según criterios de sustentabilidad (ambiental, económico y social).

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la generación de IS, es necesario contar con una base de datos robusta, completa y actualizada, que permita analizar el desempeño operacional y ambiental de las PTARs.
- Al tener resultados incoherentes en los análisis de parámetros fisicoquímicos de varias PTARs (valores del efluente mayores que el afluente), puede considerarse que el tipo de muestra (simple) recogida es incorrecta, el periodo de muestreo o la preservación de las mismas, o también los métodos de análisis empleados, por este motivo se recomienda utilizar muestras compuestas, que permiten caracterizar efectivamente tanto el afluente como el efluente y evidencien el desempeño real de las PTARs.
- Para un mejor manejo y obtención de información relevante, se debería aprovechar de nuevas herramientas de información como son los SIG (Sistemas de Información Geográfica), que pueden ser de gran ayuda en la toma de decisiones sobre el sitio de implantación del sistema de tratamiento.
- Respecto a futuras investigaciones, se recomienda la generación y cuantificación de información referente al uso de recursos materiales y energéticos, residuos generados, emisiones al aire y suelo, con el objetivo de complementar el análisis sobre el desempeño integral de las PTARs y ayudar a los encargados de la toma de decisiones en relación con las necesidades ambientales, económicas y sociales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J., y Cladera, M. (2002). *Introducción a la estadística descriptiva para economistas*. Universidad de Illes Balears, Palma. 245 pp
- Amat, J. (2014). *Kruskal-Wallis test alternativa no parametrica al ANOVA*. Madrid. 10 pp.
- Arango, J. (2003). *Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas*. Tesis para la obtención del título de Magister en Gestión y planificación Ambiental, Universidad de Chile, Santiago de Chile. 92 pp.
- Arboleda, A. (2012). *Diseños del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de Pijal, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica Nacional, Quito. 161 pp.
- Argudo, D. (2016). *Ajuste del tiempo de inseminación con semen sexado de vacas superovuladas*. Tesis para la obtención de título de Magister en Reproducción Animal, Universidad de Cuenca, Cuenca. 60 pp.
- Arora, S., Rajpal, A., Bhargava, R., Pruthi, V., Bhatia, A., Kazmi, A. (2014). *Antibacterial and enzymatic activity of microbial communiting during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system*. *Bioresource Technology*, 166, 132-141.
- Arriaza, V. (1999). *Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. 106 pp.
- Azar, C., Holmberg, J., Lindgren, K. (1996). *Socio-ecological indicators for sustainability*. *Ecological economics*, 18(2), 89-112.
- Balkema, A., Preisig, H., Otterpohl, R., Lambert, F. (2002). *Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems*. *Urban Water*, 4(2), 154-161.
- Ballesteros, E. (2015). *Estadística descriptiva univariante, mediante el gráfico de cajas*. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Sociología, Madrid. 41 pp.
- Baraňao, P., Tapia, A. (2004). *Tratamiento de aguas servidas: situación en Chile*. *Ciencia & Tecnología*, 6(13), 111-117.

- Barrantes, G. (2006). *Identificación y uso de variables e indicadores: Conceptos básicos y ejemplos*. Instituto de Políticas para la Sustentabilidad (IPS). Costa Rica. 22 pp.
- Becerra, J. (2011). *Matemática Básica: Estadística Descriptiva*. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico, D.F. 38 pp.
- Cárdenas, C., Yabroudi, S., Benítez, A., Páez, K., Perruolo, T., Angulo, N., Herrera, L. (2012). *Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 111-120.
- Cardoso, L., Ramírez, E., Garzón, M. (2011). *Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales*. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, Mexico D.F. 12 pp.
- Castillo, A., Guerra, M. (2014). *Diseño e implementación de una Ptar por lodos activos a escala de laboratorio*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba. 205 pp.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) (2010). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Guatemala: IDEASAMARES. 264 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2001). *Indicadores de sustentabilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas*. Bogotá. 124 pp.
- Cervantes, F. (2012). *Remoción de materia orgánica y toxicidad de aguas residuales de la industria cosmético-farmacéutica con un vermifiltro*. Tesis para la obtención del título de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelos. 92 pp.
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires. 43 pp.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD). (1987). *Nuestro futuro común (Informe Brundtland)*. Madrid: Alianza Editorial. Obtenido de <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (revisado: Mayo, 2017).
- De la Fuente, S. (2012). *Análisis de la varianza*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. 104 pp.

- Doméneh, X., y Peral, J. (2006). *Química ambiental en sistemas terrestres*. Reverte. 256 pp.
- Empresa Eléctrica Quito (EEQ) (2017). *Costo kW-h en zona del DMQ*. Quito. Obtenido de www.eeq.com.ec (revisado: mes, año).
- Emerson, R. H., Morse, G. K., Lester, J. N., Edge, D. R. (1995). *Analysis of small-scale sewage treatment processes*. *Jorunal of Chartered Institution of Water and Enviromental Management*, 9, 317-325.
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) (2014). *EPMAPS presenta su rendición de cuentas 2013 y 2009-2014*. Quito.
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) (2017). *Programa para la descontaminación de los ríos en Quito*. Quito. 5 pp.
- Fábregas, A. (2006). *Aplicación de indicadores de sustentabilidad a estaciones depuradoras de aguas residuales de poblaciones rurales de Portugal*. Tesis para la obtencion del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 225 pp.
- Fernández, F. (2006). *Indicadores de Sostenibilidad y Medio Ambiente- Métodos y Escala*. Sevilla, España: Consejería de Medio Ambiente. Andalucía. 240 pp.
- García, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J., Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Canarias: ITC. 128 pp.
- García, J., Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales artificiales: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, Catalunya. 108 pp.
- García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L., Bayona, J. (2004). *Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater*. *Water Research*, 1669-1678.
- Gobierno Provincial de Gualea (GPG) (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Descentralizado Parroquial de Gualea*. Quito, Ecuador. 118 pp.
- Gobierno Provincial de Nono (GPN) (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Nono 2012-2025*. Quito, Ecuador. 104 pp.

- Gobierno Provincial de Pacto (GPP) (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Pacto 2012-2025. Quito, Ecuador. 114 pp.*
- Gobierno Provincial de Pintag (GPPintag). (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Pintag 2012-2025. Quito, Ecuador. 104 pp.*
- Gobierno Provincial de Puéllaro (GPPuéllaro) (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Puéllaro 2012-2015. Quito, Ecuador. 95 pp.*
- Gobierno Provincial de san José de Minas (GPSJM) (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento de la parroquia de San José de minas 2012-2019. Quito, Ecuador. 101 pp.*
- Gras, M. (2010). Estimación estadística y modelado análisis de la trasmisión y coste de la variabilidad en procesos multi-etapa. (Tesis Doctoral). Universidad Jaime, Departamento de Ingeniería en Sistemas, Castellón. 297 pp.*
- Hammer, D. (1989). Constructed wetlands for wastewater treatment municipal, industrial and agricultural. Lewis Publisher INC. 54 pp.*
- Hellström, D., Jeppsson, U., Kärrman, E. (2000). A framework for systems analysis of sustainable urban water management. Environmental Impact Assessment Review, 20(3), 311-321.*
- Horan, N., Salih, A., Walkinshaw, T. (2006). Wind-aerated lagoons for sustainable treatment of wastewaters from small communities. Water Environmental Journal, 20, 265-270.*
- Instituto Geográfico Militar (IGM) (2016). Cartografía de libre acceso. Geoportal IGM. Quito, Ecuador.*
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2010). Población por zonas y sectores censales. Quito. Ecuador*
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2016). Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales (agua y alcantarillado). Quito. 34 pp.*
- Jiménez, B. (2001). Contaminación Ambiental en México. México D.F., Mexico: Limusa. 207 pp.*
- Kharwade, A., Khedkar, I. (2011). Laboratory scale studies on domestic grey water through vermifilter and non-vermifilter. Journal of Engineering Research and Studies, 2(4), 35-39.*

- Kumar, T., Bhargava, R., Prasad, K., Pruthi, V. (2015). Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 75, 370-377.
- Lakshmi, C., Ranjitha, J., Vijayalakshmi, S. (2014). Wastewater treatment using vermifiltration technique at institutional level. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 1(3), 581-590.
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 145 pp.*
- Li, Y., Xiao, Y., Qui, Y. D., Robin, P. (2009). Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science & Technology*, 60(11), 3001-3021.
- Lou, S., Yang, J., Wang, S. (2010). Wastewater treatment performance of a vermifilter enhancement by a converter slag-coal cinder filter. *Ecological Engineering*, 36(4), 489-494.
- Lundin, M., Molander, S., Morrison, G. (1999). A set of indicators for the assessment of temporal variations in the sustainability of sanitary systems. *Water Science and Technology*, 39(5), 235-242.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) (2004). *Ley de gestión ambiental, Publicado en registro oficial suplemento 418. Quito. Ecuador 14 pp.*
- Manterola, C., Pineda, V. (2008). El valor de p y la significacion estadística. *Revista Chilena de la cirugía*, 60(1), 86-89.
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L., Thebo, A. (2015). Global wastewater and sludge production, treatment and use. In *Wastewater*. Springer Netherlands, 7(3), 15-38.
- Merly, X., Logeswari, A., Mano, S., Kannadasan, T. (2013). Vermiculture for the treatment of dairy effluents. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 1, 143-154.
- Metcalf, Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse (Vols. I, II, III)*. New York, USA: McGraw-Hill. 1205 pp.
- Morato, J., Peñuela, G. (2009). *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. Catalunya: Jordi Morató. 117 pp.*

- Mueses, H. (2008). *Diferencias entre el nivel de significancia y el valor de p*. *Revista Estomatología*, 16(1), 30-32.
- Oliveira, S., Sperling, M. (2008). *Reliability analysis of wastewater treatment plants*. *Water Research*, 42(4), 1182-1194.
- Olsson, J., Bradley, K., Hilding, T., Ruotsalainen, A., Aalbu, H. (2004). *Indicators for Sustainable Development. European Regional Network on Sustainable Development*, 28pp.
- Ordaz, J., Melgar, M., Rubio, C. (2012). *Métodos estadísticos y econométricos en la empresa y finanzas*. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla. 237 pp.
- Orellana, L. (2001). *Estadística descriptiva*. Mexico D.F. 64 pp.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales-Teoría y Diseño*. Bogotá, Colombia: Acodal. 56 pp.
- Palme, U., Lundin, M., Tillman, A. M., Molander, S. (2005). *Sustainable development indicators for wastewater systems—researchers and indicator users in a co-operative case study*. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(3), 293-311.
- Peña, M., Duci, J., Zamora, V. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales en México*. México D.F.
- Piérart, I., Chiang, G. (2013). *Integrated model of biopurification system for home sewage. A proposal for peri-urban communities from south center of Chile*. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(3), 39-51.
- Plaza de los Reyes, C., Vera, I., Salvato, M., Borin, M., Vidal, G. (2011). *Consideraciones para la eliminación de nitrógeno en humedales artificiales*. *Tecnología del Agua*, 330(31), 40-49.
- Puigagut, J., Villasenor, J. S., Becares, E., García, J. (2007). *Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: A comparative study*. *Ecological Engineering*, 30(5), 312-319.
- Pulamarin, L. (2016). *Diseño de sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para la localidad el Taxo, parroquia Cotogchoa, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil., Escuela Politécnica Nacional, Quito. 132 pp.

- Quijia, F. (2015). *Diseños del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de veracruz, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica Nacional, Quito. 157 pp.*
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL. 129 pp.*
- Ramalho, R. (1990). *Tratamiento de aguas residuales. Quebec, Canada: Reverte S.A. 707 pp.*
- Rockne, K., Brezonick, P. (2006). *Nutrient removal in a cold-region wastewater stabilization pond. Importance of ammonia volatilization. Journal Environmental Engineering, 132, 451-459.*
- Rojas, K. (2012). *Puesta en marcha de un sistema piloto de humedales construidos de flujo subsuperficial para la depuración de aguas residuales rurales: Consideración de indicadores de sustentabilidad. Tesis para la obtención de título de Ingeniero Ambiental, Universidad de Concepción, Concepción. 114 pp.*
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Proyectos Especiales CEPIS/OPS-OMS. 123 pp.*
- Rojo, J. (2006). *Análisis descriptivo y exploratorio de datos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. 56 pp.*
- Salazar, P. (2005). *Sistema TOHÁ; Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Tesis para la obtención del título de Contrustor Civil, Universidad Austral de Chile, Santiago de Chile. 117 pp.*
- Sánchez, R. (2011). *Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Título para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito. 169 pp.*
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) (2014). *Agua potable y Alcantarillado para erradicar la Pobreza en el Ecuador. Quito. 59 pp.*
- Siqueiros, A. (2004). *Aplicación de la metodología de superficies de respuesta para el mejoramiento de la calidad del aceite de soya. Título para la obtención del título de Licenciado en Matemáticas, Universidad de Sonora, Sonora. 113 pp.*
- Sistema Nacional de Información (SIN) (2010). *Indicadores Básicos de Población. Quito, Pichincha, Ecuador.*

- Solsona, F., Méndez, J. (2002). *desinfección del agua*. Lima: CEPIS. 158 pp.
- Tenemaza, P. (2015). *Validación de métodos de ensayo para determinación de porcentaje de oxígeno, temperatura y flujo de gases en fuentes fijas de combustión*. Tesis de pregrado para la obtención de título de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador, Quito. 155 pp.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) (2003). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1*. 331 pp.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P., Zurbruegg, C. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Duebendorf. Suiza. 158 pp.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (1980). *Design Manual-Onsite Wastewater Treatment and Dysposal Systems*. Cincinnati: EPA 625/1-81013. 409 pp.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (1993). *Design Manual-Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment*. New Orleans: EPA 832-R-93-008. 87 pp.
- Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Riobamba. 178 pp.
- Varila, J., Díaz, F. (2008). *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio*. *Journal of Technology*, 7(2), 21-28.
- Velasco, V. (2015). *Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis para la obtención de título de Ingeniero Ambiental, Universidad de las Américas, Quito. 138 pp.
- Vera, I. (2012). *Análisis de funcionamiento y patrones asociativos de sistemas de tratamiento convencionales y naturales de aguas servidas para la eliminación de materia orgánica y nutrientes*. PhD. Thesis, Universidad de Concepción, Concepción. 157pp.
- Vera, I., García, J., Saez, K., Moragas, L., Vidal, G. (2011). *Performance evaluation of eight years experience of constructed wetland systems in Catalonia as alternative treatment for small communities*. *Ecological Engineering*, 37(2), 364-371.

- Vera, I., Sáez, K., Vidal, G. (2013). *Performance of 14 full-scale sewage treatment plants: Comparison between four aerobic technologies regarding effluent quality, sludge production and energy consumption*. *Environmental Technology*, 34(15), 1-10.
- Villamar, C., Vera, I. R., y De la Hoz, F. (2017). *Reuse and recycling of livestock and municipal wastewater in Chilean agriculture: a preliminary assessment*. *Agricultural Water Management (Submitted)*.
- Vymazal, J. (2005). *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment*. *Ecological Engineering*, 25(5), 478-490.
- Vymazal, J., Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer, 566pp.
- Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez, F., y Verbruggen, A. (2014). *Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development*. *Sustainability*, 6(9), 5519-5534.
- Wagner, W. (2010). *Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia*. La Paz, Bolivia: ANESAPA. 75 pp.
- Wang, L., Gou, Z., Che, Y., Yang, F., Chao, J., Gao, Y., y Zhang, Y. (2014). *The effect of vermifiltration height and wet: dry time ratio of nutrient removal performance and biological features, and their influence of nutrient removal efficiencies*. *Ecological Engineering*, 71, 165-172.
- Water and Sanitation Program (WSP). (2006). *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Mikko Vayrynen. 46 pp.
- World Water Assessment Program (WWAP) (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017, Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. Paris. 202 pp.
- Zambrano, J., Miranda, K. (2012). *Análisis de reducción de pérdida en la fabricación de cubiertas onduladas*. Tesis para la obtención del título de Máster en Gestión de la Productividad y la Calidad, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. 78 pp.
- Zinn, E. (2000). *Sustainable development indicators for urban water systems—a case study of King William's Town, South Africa and an evaluation of the applied indicators*. (Tesis Maestría). Universidad de Chalmers Goteborg, Sweden. 68 pp.

ANEXOS

ANEXO N° 1

DATOS GENERALES DE LAS PTARS

TABLA A1.1 DATOS GENERALES PTAR YURAC


NOMBRE PTARs		YURAC		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		PINTAG				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		794860	9958834	Preliminar	Cribado	
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		276			Desarenador	
				Primario	Fosa Séptica	X
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
					Filtro rápido	
					Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
				Humedales Artificiales		
Terciario	Desinfección					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,85	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno (m2)	100	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/año)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
	\$ 9.523,90	1,6		\$ 8.212,17	Operación y mantenimiento	1
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Largo: 6,40m; ancho: 3,40m; Profundidad: 3,80m		1	Fosa Séptica	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos químicos	Tipo		NA			
	Consumo		NA			
	Duración		NA			
	Dosificación		NA			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad (m3/mes)			
	Fosa Séptica		10 m3/6meses			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.2 DATOS GENERALES PTAR CHACHIL


NOMBRE PTARs	CHACHIL		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA	PINTAG				
UBICACIÓN GEOGRAFICA	793629	9962613	Preliminar	Cribado	
POBLACIÓN SERVIDA (hab)	330			Desarenador	
	Primario	Fosa séptica			
		Tanque Imhoff	X		
	Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente			
		Filtro rápido			
		Sedimentador Secundario			
		Bioreactores (Lodos activados)			
Humedales Artificiales					
Terciario	Desinfección				
OPERACIÓN					
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,7	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m2)	100
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1
\$ 9.701,49	5	\$ 8.873,41		Operación y mantenimiento	1
Información general PTAR					
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción	
Ancho: 2,20m; largo: 7,50m; Profundidad: 5m		2	Tanque Imhoff	Concreto	
ENTRADAS					
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA		
Insumos químicos	Tipo		NA		
	Consumo		NA		
	Duración		NA		
	Dosificación		NA		
SALIDAS					
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad		
	Fosa Séptica		10 m3/6meses		
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)		
	Residuos de comida		NA		
	Limpieza		NA		
	Baño		NA		

TABLA A1.3 DATOS GENERALES PTAR ALOQUINCHO


NOMBRE PTARs		ALQUINCHO		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		PUELLARO				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		795193	10010909	Preliminar	Cribado	
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		290			Desarenador	
				Primario	Fosa séptica	X
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
					Filtro rápido	
					Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
					Humedales Artificiales	
Terciario	Desinfección					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	1,1	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m2)	75	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (\$/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 9.843,57	4	\$ 8.212,27		Operación y mantenimiento	1	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Numero de unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Largo: 9m; ancho: 4m; Profundidad: 3,20m		1	Fosa Séptica	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos Químicos	Tipo		NA			
	Consumo		NA			
	Duración		NA			
	Dosificación		NA			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Fosa Séptica		10 m3/6meses			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.4 DATOS GENERALES PTAR SAN LUIS DE ALOQUINCHO


NOMBRE PTARs		SAN LUIS DE ALOQUINCHO		TIPOLOGÍA					
PARROQUIA		PUELLARO							
UBICACIÓN GEOGRAFICA		795256	10011665	Preliminar	Cribado				
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		410			Desarenador				
							Primario	Fosa Séptica	X
								Tanque Imhoff	
							Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
								Filtro rápido	
								Sedimentador Secundario	
Terciario	Bioreactores (Lodos activados)								
	Humedales Artificiales								
OPERACIÓN									
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,3	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m2)	175				
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (\$/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1				
	\$ 9.879,09	6,25		\$ 26.479,28	Operación y mantenimiento	1			
Información general PTAR									
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción					
Largo: 6,60m; ancho: 5,90m; Profundidad: 3,20m		2	Fosa Séptica	Concreto					
ENTRADAS									
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)	NA							
Insumos químicos	Tipo	NA							
	Consumo	NA							
	Duración	NA							
	Dosificación	NA							
SALIDAS									
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento	Cantidad							
	Fosa Séptica	10 m3/6meses							
	Cribado	50kg/mes							
Otros residuos	Tipo	Cantidad (kg/mes)							
	Residuos de comida	NA							
	Limpieza	NA							
	Baño	NA							

TABLA A1.5 DATOS GENERALES PTAR PINTAG

NOMBRE PTARs	PINTAG		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA	PINTAG				
UBICACIÓN GEOGRAFICA	794656	9963086	Preliminar	Cribado	
POBLACIÓN SERVIDA (hab)	146			Desarenador	
			Primario	Fosa Séptica	
				Tanque Imhoff	X
			Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
				Filtro arena	X
				Sedimentador Secundario	
				Bioreactores (Lodos activados)	
			Humedales Artificiales		
Terciario	Desinfección				
OPERACIÓN					
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,5	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m ²)	100
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m ²)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1
\$ 8.058,60	15	\$ 8.873,41		Operación y mantenimiento	1
Información general PTAR					
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción	
Ancho: 2,11m; largo: 7m; Profundidad: 5,19m		2	Tanque Imhoff	Concreto	
Ancho: 4m; largo: 4m; Profundidad: 3m		1	Filtro Rápido	Concreto	
ENTRADAS					
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)	NA			
Insumos químicos	Tipo	NA			
	Consumo	NA			
	Duración	NA			
	Dosificación	NA			
SALIDAS					
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento	Cantidad			
	Fosa Séptica	10 m ³ /6meses			
Otros residuos	Tipo	Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida	NA			
	Limpieza	NA			
	Baño	NA			

TABLA A1.6 DATOS GENERALES PTAR LA CALERA


NOMBRE PTARs		LA CALERA		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		SAN JOSE DE MINAS				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		791574	10018285	Preliminar	Cribado	
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		133			Desarenador	
				Primario	Fosa Séptica	X
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	X
					Filtro arena	
					Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
	Humedales Artificiales					
Terciario	Desinfección					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,5	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno(m2)	150	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 8.175,36	1,5	\$ 18.018,07		Operación y mantenimiento	1	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Ancho: 2,50m; Largo: 7m y Profundidad: 2m		1	Fosa Séptica	Concreto		
Ancho: 2,50m; Largo: 2,50m y Profundidad: 1,20m		1	FAFA	Concreto		
Ancho: 2m; Largo: 8,75m; altura del material filtrante(arena y grava): 0,60m		3	Filtro de arena	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos químicos	Tipo		NA			
	Consumo		NA			
	Duración		NA			
	Dosificación		NA			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Fosa Séptica		10 m3/6meses			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.7 DATOS GENERALES PTAR UBILLUS

NOMBRE PTARs		UBILLUS		TIPOLOGÍA					
PARROQUIA		PINTAG							
UBICACIÓN GEOGRAFICA		793700	9954618	Preliminar	Cribado	X			
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		190			Desarenador				
							Primario	Fosa Séptica	X
								Tanque Imhoff	
							Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	X
								Filtro arena	
								Sedimentador Secundario	
								Bioreactores (Lodos activados)	
	Humedales Artificiales								
Terciario	Desinfección								
OPERACIÓN									
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,6	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada joyaloma	Área de terreno (m2)	200				
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1				
\$ 8.040,84	10	\$ 8.212,27		Operación y mantenimiento	1				
Información general PTAR									
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción					
Ancho: 2,60m; Largo: 4,80m y Profundidad: 3,60m		1	Fosa Séptica	Concreto					
Ancho: 4,10m; Largo: 5,35m y Profundidad: 2,90M		1	FAFA	Concreto					
Ancho de la rejilla: 0,38m; Largo: 1,12m		1	Cribado	Lamina Metálica					
ENTRADAS									
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)	NA							
Insumos químicos	Tipo	NA							
	Consumo	NA							
	Duración	NA							
	Dosificación	NA							
SALIDAS									
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento	Cantidad							
	Fosa Séptica	10 m3/6meses							
	Cribado	50kg/semana							
Otros residuos	Tipo	Cantidad (kg/mes)							
	Residuos de comida	NA							
	Limpieza	NA							
	Baño	NA							

TABLA A1.8 DATOS GENERALES PTAR GUALEA CRUZ

NOMBRE PTARs		GUALEA CRUZ		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		GUALEA				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		753446	10012565	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		156			Desarenador	X
				Primario	Fosa Séptica	X
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	X
					Filtro arena Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
					Humedales Artificiales	
Terciario	Desinfección					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,5	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno(m2)	150	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 10.238,52	1	\$ 18.997,70		Operación y mantenimiento	2	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Ancho: 3,20m; Largo: 6,20m y Profundidad: 3,65m		1	Fosa Séptica	Concreto		
Ancho: 3,70m; Largo: 5m y Profundidad: 2,90m; Lecho filtrante con granulometría de [0,04-0,07m]		1	FAFA	Concreto		
Ancho de la rejilla: 0,38m; Largo: 1,12m		1	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 0,40m; Largo: 0,80m y Profundidad: 0,80m		1	Desarenador	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos químicos	Tipo		NA			
	Consumo		NA			
	Duración		NA			
	Dosificación		NA			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Fosa Séptica		10 m3/6meses			
		Cribado		10kg/semana		
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.9 DATOS GENERALES PTAR BELLAVISTA

NOMBRE PTARs		BELLAVISTA		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		GUALEA				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		747208	10014292	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		154			Desarenador	X
				Primario	Fosa Séptica	
					Tanque Imhoff	X
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
					Filtro arena Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
					Humedales Artificiales	X
Terciario	Desinfección					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,15	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno(m2)	600	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 10.131,96	1	\$ 40.216,45		Operación y mantenimiento	3	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Ancho: 2,3m; largo: 2,6m; Profundidad: 4,95m.		1	Tanque Imhoff	Concreto		
Largo: 28m; ancho: 4m; Profundidad del lecho filtrante: 1m; Grava: diametro de 5cm; gravilla: 3cm; arena gruesa: 2cm		3	Humedales artificiales	Concreto		
Ancho del canal: 0,40m; altura: 0,80m; espaciamento: 0,025m		1	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 0,40m; Largo: 0,8m y Profundidad: 0,8m		1	Desarenador	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos químicos	Tipo		NA			
	Consumo		NA			
	Duración		NA			
	Dosificación		NA			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Desarenador		0,735m3/año			
	Cribado		100 kg/mes			
	Lecho de Secado		5 m3/6meses			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.10 DATOS GENERALES PTAR PINGUILLA


NOMBRE PTARs		PINGUILLA		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		PUELLARO				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		788482	10010838	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		281			Desarenador	X
				Primario	Fosa Séptica	
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	
					Filtro arena	
					Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
	Vermifiltración	X				
Terciario	Desinfección	X				
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,15	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m2)	250	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 21.754,69	2	\$ 102.912,19		Operación y mantenimiento	2	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Largo: 12m; Ancho: 10m; Profundidad: 1,7m		1	Vermifiltro	Concreto		
Volumen tanque: 0,348m3; Ancho: 0,40m x 0,40m		2	Desinfección	Concreto		
Ancho del canal: 1m; longitud: 1m; altura: 1m; espaciamento: 0,04m		1	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 1m; Largo: 2m y Profundidad: 1m		1	Desarenador	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		1297			
Insumos químicos	Tipo		Hipoclorito de Calcio			
	Consumo		1kg/3meses			
	Duración					
	Dosificación		6pastillas/3meses			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Desarenador		20kg/mes			
	Cribado		10kg/semana			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.11 DATOS GENERALES PTAR LAS TOLAS


NOMBRE PTARs		LAS TOLAS		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		GUALEA				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		748991	10009446	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		181			Desarenador	X
				Primario	Fosa Séptica	
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Tanque de Homogenización	X
					Filtro arena Sedimentador Secundario	X
					Bioreactores (Lodos activados)	X
				Terciario	Humedales Artificiales	
Desinfección	X					
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,2	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno(m2)	250	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
	\$ 30.994,69	1,5		\$ 106.058,25	Operación y mantenimiento	4
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Diámetro: 1,8m; Altura: 3m;		1	Tanque homogenización	Concreto		
Diámetro: 1,8m; Altura: 3m;		1	Sedimentador Secundario	Concreto		
Orificios de 0,025m; espesor: 8mm; ancho: 0,40m; altura: 1m		2	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 2m; Largo: 1,55m; Profundidad: 2,2m		1	Desarenador	Concreto		
Diámetro: 4,3m; altura: 3m		1	Bioreactor	Concreto		
Ancho: 0,55; Profundidad: 1,60m		1	Tanque de cloración	Poliéster reforzado con fibra de vidrio		
Profundidad: 2,90m; Largo: 2m; ancho 2m		2	Lecho de secado	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		1233			
Insumos químicos	Tipo		Hipoclorito de Calcio			
	Consumo		15kg/mes			
	Duración		3 meses			
	Dosificación		0,4mg/L			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Desarenador		25kg/mes			
	Cribado		25kg/mes			
	Lecho de Secado		5 m3/6 meses			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.12 DATOS GENERALES PTAR INGAPI


NOMBRE PTARs		INGAPI		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		PACTO				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		746298	10012514	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		390			Desarenador	
				Primario	Fosa Séptica	
					Tanque Imhoff	x
				Secundario	Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	X
					Filtro arena	
					Sedimentador Secundario	
					Bioreactores (Lodos activados)	
	Humedales Artificiales	X				
Terciario	Desinfección	X				
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,4	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de Terreno(m2)	600	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
	\$ 12.409,09	0,5		\$ 58.264,04	Operación y mantenimiento	2
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Largo: 9,60m; ancho 4,30m; Profundidad: 2,30m		1	Fosa Séptica	Concreto		
Ancho: 6,40m; Largo: 8,40m y Profundidad: 1,0m		1	Cámara Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	Concreto		
0,40 m de ancho; Sección 8 x 25 mm;		1	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 9,40m; Largo: 17,90m y diámetro de la grava: 0,020m; diámetro de arena: 0,025m;		1	Humedal Artificial	Concreto		
Volumen total: 13,36		2	Camara de Lecho de Secado	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		NA			
Insumos químicos	Tipo		Hipoclorito de Calcio			
	Consumo		15kg/mes			
	Duración		semana			
	Dosificación		0,5mg/L			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Fosa séptica		10m3/6meses			
	Cribado		10kg/semana			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		NA			
	Limpieza		NA			
	Baño		NA			

TABLA A1.13 DATOS GENERALES PTAR LA DELICIA

NOMBRE PTARs		LA DELICIA		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA		PACTO				
UBICACIÓN GEOGRAFICA		744347	10017571	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)		360			Desarenador	X
				Primario	Fosa Séptica	
					Tanque Imhoff	
				Secundario	Tanque de Homogenización	X
					Filtro arena Sedimentador Secundario	X
					Bioreactores (Lodos activados)	X
					Humedales Artificiales	
				Terciario	Desinfección	X
OPERACIÓN						
Caudal de Operación (Q) (L/s)	0,2	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Quebrada	Área de terreno (m2)	300	
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1	
\$ 36.977,89	1	\$ 73.124,46		Operación y mantenimiento	5	
Información general PTAR						
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Numero de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción		
Ancho: 0,30m; Largo: 1,20m y Profundidad: 0,5m		1	Desarenador	Concreto		
Diámetro: 1,40m; altura: 2,50m		1	Tanque de Homogenización	Poliéster reforzado con fibra de vidrio		
Rejilla barras laterales de 0,353m de largo ancho de aberturas: 0,013m; largo: 0,50m y ancho: 0,294m		2	Cribado	Lamina Metálica		
Ancho: 3m; altura: 2,50m; Longitud: 4m		1	Bioreactor	Poliéster reforzado con fibra de vidrio		
Diámetro: 1,55m; Profundidad: 3,75m		1	Sedimentador Secundario	Poliéster reforzado con fibra de vidrio		
Ancho: 0,59; Largo: 0,67m; Profundidad: 0,75m		1	Tanque de purgas	Concreto		
Ancho: 0,55; Profundidad: 1,60m		1	Tanque de cloración	Poliéster reforzado con fibra de vidrio		
Ancho: 1,46m; Largo: 2,35m; Profundidad: 1,45m		1	Lecho de Secados	Concreto		
ENTRADAS						
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		1898			
Insumos químicos	Tipo		Hipoclorito de Calcio			
	Consumo		15kg/mes			
	Duración		3 meses			
	Dosificación		0,5mg/L			
SALIDAS						
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad			
	Desarenador		43,8 kg/mes			
	Cribado		219 kg/mes			
	Lecho de Secado		5 m3/mes			
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)			
	Residuos de comida		4,3			
	Limpieza		1			
	Baño		0,32			

TABLA A1.14 DATOS GENERALES PTAR NONO

NOMBRE PTARs	NONO		TIPOLOGÍA		
PARROQUIA	NONO				
UBICACIÓN GEOGRAFICA	771163	9993028	Preliminar	Cribado	X
POBLACIÓN SERVIDA (hab)	663			Desarenador	X
			Primario	Fosa Séptica	
				Tanque Imhoff	
			Secundario	Tanque de Homogenización	X
				Filtro arena	
				Sedimentador Secundario	X
				Bioreactores (Lodos activados)	X
Terciario	Humedales Artificiales				
Desinfección	X				
OPERACIÓN					
Caudal de Operación (Q) (L/s)	1,03	Cuerpo receptor (río, Quebrada o campo)	Rio Pichán	Área de Terreno(m2)	54,76
Costo Operación y Mantenimiento (USD/mes)	Costo terreno (USD/m2)	Costo inversión (USD)	Trabajadores	Muestreo	1
				Operación y mantenimiento	6
\$ 49.091,51	70	\$ 92.650,00			
Información general PTAR					
Dimensiones (largo, ancho, profundidad) (m)		Número de Unidades	Tipo de unidad	Tipo de material de construcción	
Ancho: 1,15m; Largo: 2,40m y Profundidad: 1,60m		1	Desarenador	Concreto	
Diámetro: 1,55m; Profundidad: 3,75m		1	Tanque de Homogenización	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
rejilla de 1cm de diámetro y 2mm de espesor, 1,5 m de largo y 0,50 m de ancho		1	Cribado	Lamina Metálica	
Diámetro: 3,1m; Profundidad: 3,75m		2	Bioreactor	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
Diámetro: 1,55m; Profundidad: 3,75m		1	Sedimentador Secundario	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
Ancho: 0,59; Largo: 0,67m; Profundidad: 0,75m		1	Tanque de purgas	Concreto	
Ancho: 0,55; Profundidad: 1,60m		1	Tanque de cloración	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
Ancho: 1,46m; Largo: 2,35m; Profundidad: 1,45m		2	Lecho de Secados	Concreto	
Ancho: 1,15m; Largo: 2,40m y Profundidad: 1,60m		1	Tanque de captación	Concreto	
ENTRADAS					
Consumo eléctrico de la PTARs	Energía consumida (Kwh/mes)		3891		
Insumos químicos	Tipo		Hipoclorito de Calcio		
	Consumo		20kg/mes		
	Duración		3 meses		
	Dosificación		80 mL/min		
SALIDAS					
Volumen de lodos	Unidad de Tratamiento		Cantidad		
	Desarenador		43,8 kg/mes		
	Cribado		219 kg/mes		
	Lecho de Secado		5 m3/mes		
Otros residuos	Tipo		Cantidad (kg/mes)		
	Residuos de comida		4,3		
	Limpieza		1		
	Baño		0,32		

ANEXO N° 2

SOLICITUDES DE ACCESO DE INFORMACIÓN



Quito, 3 de octubre de 2016

Sr. Ing. Marco Antonio Cevallos

Gerente General EPMAPS

MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO

Presente.-

De mi consideración:

En mi calidad de decana de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, me dirijo a usted para solicitarle comedidamente pueda facilitarnos información relacionada con la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que actualmente operan en las zonas rurales de la ciudad. La información suministrada por ustedes, será utilizada con fines académicos (tesis de pre y post-grado), además permitirá a la empresa disponer de información valiosa en cuanto a la sustentabilidad de dichas plantas a partir de la generación de indicadores de sustentabilidad. Por lo tanto, el trabajo de investigación y cooperativo que se obtenga, será de beneficio directo para ambas instituciones. Por tal motivo, a continuación detallo el tipo de información requerida.

- ✓ Ubicación geográfica de las plantas de tratamiento.
- ✓ Tipología, características y volúmenes de las unidades de tratamiento.
- ✓ Caudales medios diarios tratados.
- ✓ Tiempos de residencia de cada unidad de tratamiento.
- ✓ Caracterización de las aguas residuales (entrada y salida de cada unidad de tratamiento).
- ✓ Producción y caracterización de lodos generados.
- ✓ Consumo diario de recursos energéticos.
- ✓ Tipo y cantidad diaria de insumos químicos (si lo usasen).

Por la atención que se le dé a la presente, se despide atentamente,

M.Sc. Ximena Del Rocio Hidalgo Bustamante
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

EPMAPS
 17 OCT 2016

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 CIVIL Y AMBIENTAL
 DECANO
 QUITO - ECUADOR



OFICIO N°: EPMAPS-GOT-15-2016
Quito D.M

M. Sc. Ximena del Rocío Hidalgo Bustamante.
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL.

De mis consideraciones,

Hago referencia al comunicado enviado el 3 de octubre del 2016, por su persona, mediante el cual solicita información referente a las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales que actualmente operan en las zonas rurales de la ciudad de Quito.

Al respecto remito la tipología, características, tipo de químicos utilizados, caudales promedios mensuales y la ubicación geográfica en formato shp de las plantas solicitadas.

En lo que respecta a tiempos de residencia, producción y caracterización de lodos y consumo diario de recursos energéticos, se informa que esta información no se tiene levantada en el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales.

Se entrega en físico a Javier García toda la información en forma digital para así cumplir con la solicitud realizada.

Recibido por:



Javier García

Aprobado por:



Ing. Juan Ezequiel Espinoza

ANEXO N° 3
ACTA DE REUNIÓN

ACTA DE REUNIÓN

En la ciudad de Quito, siendo las 8 a.m., del 08 de Noviembre del año 2016, se reunieron en las oficinas matriz de la Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), las siguientes personas: Javier Garcia e Ing. Juan Espinoza, con el objeto de exponer sobre el proyecto de titulación que lleva por nombre: Indicadores de sustentabilidad aplicables a sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas orientadas al sector rural. Además de informar que existe del apoyo de la Ing. Cristina A. Villamar, PhD directora del presente proyecto. Dicha reunión se procedió a desarrollar el siguiente:

Orden del Día:

- a) Exponer sobre proyecto de titulación
- b) Tipo de información necesaria para la investigación
- c) Manejo de la información
- d) Beneficios y transferencia de los resultados obtenidos
- e) Temas varios

Firmas:



Estudiante Javier Garcia

C.I. 172211163-8



Ing. Juan Espinoza

C.I. 0604095155

ANEXO N° 4

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



ENCUENTROS
EPN2016

LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Confiere el presente certificado a:

Javier García

Por su participación como expositor/a en la

"EXPOSICIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE LA ESCUELA
POLITÉCNICA NACIONAL"

realizada en ENCUENTROS EPN, evento desarrollado en el marco de HÁBITAT III del 17 al 21 de
octubre, con una duración de 40 horas.

DM, Quito, 21 de octubre de 2016



Ing. Jaime Calderón Segovia
RECTOR
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



Florinella Muñoz Ph.D.
COORDINADORA GENERAL
ENCUENTROS EPN 2016