



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

ACTUALIZACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS Y EFICIENCIAS DE LAS PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RURALES DEL CANTÓN CUENCA.

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

AUTORES: LUIS EDUARDO ARÉVALO VÁSQUEZ

NELSON HERNÁN VILLA CHASI

TUTOR: ING. ANDRÉS XAVIER MAZA MOGROVEJO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Luis Eduardo Arévalo Vásquez con documento de identificación N° 0105101513 y Nelson Hernán Villa Chasi con documento de identificación N° 0105214043; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



---

Luis Eduardo Arévalo Vásquez

0105101513



---

Nelson Hernán Villa Chasi

0105214043

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Eduardo Arévalo Vásquez con documento de identificación N° 0105101513 y Nelson Hernán Villa Chasi con documento de identificación N° 0105214043, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Actualización de costos operativos y eficiencias de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio del 2023

Atentamente,



---

Luis Eduardo Arévalo Vásquez  
0105101513



---

Nelson Hernán Villa Chasi  
0105214043

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Xavier Maza Mogrovejo con documento de identificación N° 0104827282, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ACTUALIZACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS Y EFICIENCIAS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RURALES DEL CANTÓN CUENCA., realizado por Luis Eduardo Arévalo Vásquez con documento de identificación N° 0105101513 y por Nelson Hernan Villa Chasi con documento de identificación N° 0105214043, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de julio de 2023

Atentamente,



---

Ing. Andrés Xavier Maza Mogrovejo, MSc.

0104827282

## RESUMEN

En la ciudad de Cuenca se maneja el tratamiento de aguas residuales con plantas descentralizadas para abastecer del servicio a los residentes de las parroquias rurales, estas PTARs son operadas por la empresa pública de ETAPA EP y su gestión representa un gran desafío debido a los grandes costos de inversión que implica su operación, es por ello que el objetivo de esta investigación fue realizar un análisis comparativo de la eficiencia de tratamiento y costos del año 2022 con respecto a años anteriores para determinar si los recursos están siendo empleados de manera correcta o si se deben ejecutar correcciones, sobre todo en aquellas plantas donde se realizaron intervenciones en sus sistemas. La metodología analítica que se aplicó para los cálculos de los costos y eficiencias de remoción de contaminantes partió de la información de los registros de ETAPA EP del personal, insumos, transporte y análisis de laboratorio destinados para cada uno de los procedimientos realizados en las PTARs rurales en el año 2022. Los resultados del estudio para el año 2022 revelaron que las eficiencias en el 70% de las PTARs rurales mejoraron significativamente, sin embargo, los costos de operación también se elevaron para estas plantas. Finalmente, con el análisis financiero se concluyó que los costos que generan mayor inversión son las pruebas de laboratorio cuando se realizan muestreos ya que el número de estos llegaron incluso a duplicarse en el año 2022 en comparación al año 2021, además se demostró que intervenir una PTAR no necesariamente representará una disminución inmediata en los costos de operación sino que puede requerir de periodos prolongados hasta de nueve meses para alcanzar el punto óptimo de tratamiento como sucede con los filtros anaerobios.

**Palabras clave:** PTARs, costos operativos, eficiencias de remoción, agua residual, comparación, operación.

## ABSTRACT

In the city of Cuenca, wastewater treatment is managed with decentralized plants to supply the service to the residents of rural parishes. These WWTPs are operated by the public company ETAPA EP and their management represents a great challenge due to the high costs. of investment that its operation implies, that is why the objective of this investigation was to carry out a comparative analysis of the treatment efficiency and costs of the year 2022 with respect to previous years to determine if the resources are being used correctly or if they are being used correctly. they must execute corrections, especially in those plants where interventions were made in their systems. The analytical methodology that was applied to calculate the costs and efficiencies of contaminant removal was based on information from the ETAPA EP records of personnel, supplies, transportation, and laboratory analysis for each of the procedures performed in the rural WWTPs. in the year 2022. The results of the study for the year 2022 revealed that the efficiencies in 70% of the rural WWTPs improved significantly, however, the operating costs also rose for these plants. Finally, with the financial analysis it was concluded that the costs that generate the greatest investment are the laboratory tests when sampling is carried out since the number of these even doubled in the year 2022 compared to the year 2021, it was also shown that intervening a WWTP will not necessarily represent an immediate decrease in operating costs, but may require prolonged periods of up to nine months to reach the optimum point of treatment, as occurs with anaerobic filters.

**Keywords:** WWTPs, operating costs, removal efficiencies, wastewater, comparison, operation.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Importancia y alcances .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Delimitación .....</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Objetivo general .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>4. MARCO TEORICO REFERENCIAL.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1. Plantas de aguas residuales.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2. Métodos de tratamiento.....</b>	<b>10</b>
4.2.1. Métodos de tratamientos físicos.....	10
4.2.2. Métodos de tratamientos químicos .....	11
4.2.3. Métodos de Tratamientos biológicos .....	12
4.2.4. Tratamiento con lodos activados .....	13
<b>4.3. Variables operativas.....</b>	<b>15</b>
4.3.1. Estructuras de ingreso .....	16
4.3.2. Fosa séptica .....	16
4.3.3. Filtro anaerobio.....	17
4.3.4. Reactor anaerobio .....	18
4.3.5. Humedal.....	18
4.3.6. Mantenimiento de acceso a la Planta de Tratamiento. ....	19

<b>4.4. Características de las aguas tratadas .....</b>	<b>19</b>
4.4.1. Aguas tratadas por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	19
4.4.2. Aguas tratadas por Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	19
4.4.3. Aguas tratadas por Fosforo Total (PT) .....	20
4.4.4. Aguas tratadas por Nitrógeno Orgánico (NOrg) .....	20
4.4.5. Aguas tratadas por Solidos sedimentales (SS).....	21
4.4.6. Aguas tratadas por Solidos Totales (ST) .....	21
4.4.7. Aguas tratadas por Solidos Suspendidos (SST).....	21
4.4.8. Aguas tratadas por Coliformes Totales (CT).....	22
4.4.9. Aguas tratadas por Coliformes Fecales (CF).....	22
4.4.10. Oxígeno Disuelto .....	22
<b>4.5. Procesos de tratamientos convencionales de aguas residuales .....</b>	<b>23</b>
4.5.1. Tratamiento primario.....	23
4.5.2. Tratamiento secundario .....	23
4.5.3. Tratamiento terciario.....	24
<b>4.6. Toma de muestras .....</b>	<b>24</b>
4.6.1. Muestras instantáneas .....	24
4.6.2. Muestras compuestas .....	25
4.6.3. Muestreo. ....	25
<b>4.7. Eficiencia.....</b>	<b>28</b>
<b>5. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1. Proceso de actualización.....</b>	<b>28</b>
5.1.1. Caudales .....	29
<b>5.2. Proceso de comparación .....</b>	<b>29</b>
5.2.1. Primera Etapa.....	30
5.2.2. Segunda etapa.....	38
5.2.3. Etapa Final .....	39
<b>5.3. Proceso de análisis .....</b>	<b>44</b>
5.3.1. Rendimiento de la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. 44	
5.3.2. Eficiencias de las Plantas de aguas residuales. ....	44
5.3.3. Cálculo de eficiencia de las PTARs rurales de la ciudad de Cuenca.....	45

<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
6.1. <i>Análisis comparativos de PTARs entre el periodo 2021-2022 con intervenciones</i>	
53	
6.2. <i>Comparación entre las eficiencias con los costos de las PTARs rurales de Cuenca</i>	
54	
6.2.1. <i>Eficiencias DBO vs costos operativos. ....</i>	<i>57</i>
6.2.2. <i>Eficiencias DQO vs costos operativos. ....</i>	<i>58</i>
6.2.3. <i>Eficiencias SS vs costos operativos. ....</i>	<i>58</i>
6.2.4. <i>Eficiencias COND vs costos operativos. ....</i>	<i>59</i>
6.2.5. <i>Eficiencias CT vs costos operativos. ....</i>	<i>60</i>
6.2.6. <i>Eficiencias Nitrógeno Orgánico vs costos operativos. ....</i>	<i>61</i>
6.2.7. <i>Eficiencias OD vs costos operativos. ....</i>	<i>62</i>
<b>7. CRONOGRAMA .....</b>	<b>64</b>
<b>8. PRESUPUESTO .....</b>	<b>65</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>10. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>71</b>

## Lista de tablas

<i>Tabla 4-1</i> Formulario guía de muestreo a llenar por el operador _____	26
<i>Tabla 4-2</i> Parámetros de medición de muestra de las plantas de tratamiento _____	27
<i>Tabla 5-1</i> Caudales en l/s para las plantas rurales de la ciudad de Cuenca _____	33
<i>Tabla 5-2</i> Actividades realizadas en el año 2022 para la planta de San Pedro (Pt 1) _____	34
<i>Tabla 5-3</i> Actividades realizadas en el año 2022 para la planta de San Pedro (Pt 2) _____	35
<i>Tabla 5-4</i> Costos de operación por personal para el año 2022 de la planta de tratamiento San Pedro _____	36
<i>Tabla 5-5</i> Costos de operación por insumos y vehículos para el año 2022 de la planta de tratamiento San Pedro _____	37
<i>Tabla 5-6</i> Costos mensualizados de mantenimiento para el año 2022 de la PTAR San Pedro _	38
<i>Tabla 5-7</i> Costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTAR San Pedro _____	39
<i>Tabla 5-8</i> Costos anuales de mantenimiento por m <sup>3</sup> actualizado al 2022 de la PTAR San Pedro _____	40
<i>Tabla 5-9</i> Costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de las PTARs rurales de Cuenca _____	41
<i>Tabla 5-10</i> Eficiencias de las PTARs rurales de Cuenca (actualizado al 2022) _____	45
<i>Tabla 7-1</i> Cronograma de actividades a realizarse _____	64
<i>Tabla 8-1</i> Presupuesto requerido para la investigación _____	65

## Lista de Gráficos

<i>Gráfica 5-1 Tendencia de costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTARs rurales de Cuenca (Pt1)</i>	42
<i>Gráfica 5-2 Tendencia de costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTARs rurales de Cuenca (Pt2)</i>	43
<i>Gráfica 5-3 Eficiencia de DBO comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca.</i>	46
<i>Gráfica 5-4 Eficiencia de DQO comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	47
<i>Gráfica 5-5 Eficiencia de SS comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	48
<i>Gráfica 5-6 Eficiencia de conductividad comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	49
<i>Gráfica 5-7 Eficiencia de Coliformes Totales comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	50
<i>Gráfica 5-8 Eficiencia Nitrógeno Orgánico comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	51
<i>Gráfica 5-9 Eficiencia Oxígeno Disuelto comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca</i>	52
<i>Gráfica 6-1 Eficiencia VS Costos DBO comparable 2015-2022 de las PTARs rurales con intervenciones en el periodo 2021-2022</i>	56
<i>Gráfica 6-2 Eficiencia VS Costos DBO comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo.</i>	57
<i>Gráfica 6-3 Eficiencia VS Costos DQO comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo</i>	58
<i>Gráfica 6-4 Eficiencia VS Costos SS comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo</i>	59
<i>Gráfica 6-5 Eficiencia VS Costos Conductividad comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo.</i>	60

<i>Gráfica 6-6 Eficiencia VS Costos Coliformes Totales comparable 2015-2022 de la PTAR</i>	
<i>Quingeo</i> _____	61
<i>Gráfica 6-7 Eficiencia VS Costos Nitrógeno Orgánico comparable 2015-2022 de la PTAR</i>	
<i>Tutupali</i> _____	62
<i>Gráfica 6-8 Eficiencia VS Costos Oxígeno Disuelto comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo</i>	
_____	63

## **Lista de mapas**

<i>Mapa 2-1 Ubicación y parroquias del cantón Cuenca</i> _____	8
--	---

## **Lista de ilustraciones**

<i>Ilustración 4-1 Etapas convencionales de una PTAR</i> _____	15
--	----

# 1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud ONU, (2019) el 80% de las aguas residuales se evacúan a la naturaleza sin haber pasado por un tratamiento y en la actualidad 2.9 mil millones de personas a nivel mundial no cuentan con un sistema de saneamiento adecuado, dando cabida a olores fétidos, bacterias, infecciones y plagas causantes de la propagación de muchas enfermedades; lo que ha generado un gran impacto en la salud pública debido a la presencia de enfermedades como la disentería, hepatitis, gastroenteritis, fiebre tifoidea, entre otras. Es por ello que las comunidades requieren de sistemas eficientes que traten sus aguas residuales (Armas & Ocampo, 2021) .

Gestionar los recursos hídricos es una situación compleja debido a que se debe afrontar la gran demanda de agua por el crecimiento demográfico cada vez más acelerado, lo que ha producido una contaminación irreversible en el recurso vital (Escobar, 2022) a causa de compuestos químicos, pesticidas, metales pesados, jabones, materia orgánica, etc; vertidos en cuerpos de agua sin un tratamiento previo (Gil et al., 2012). A pesar de que se imponen leyes o regulaciones por las instituciones estatales y municipales de los diferentes países esto no ha sido suficiente para frenar el deterioro ambiental, provocando problemas en los ecosistemas y en la salud de las personas (Escobar, 2022). Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) tienen un papel fundamental en mitigar los problemas que se les producen a los ecosistemas por lo que deben ser eficientes en todos los aspectos, tratamiento, mantenimiento y costos (De la Vega, 2012).

En el contexto de Cuenca, actualmente al ser considerada como la tercera ciudad más grande del Ecuador con alrededor de 500 mil habitantes (GAD CUENCA, 2022) el manejo de las PTARs se ha convertido en un desafío importante debido a las características propias de la zona,

que incluyen la dispersión geográfica de las personas que optan por vivir en las zonas rurales u otras que se trasladan a las ciudades, la diversidad de actividades productivas que incluyen las industrias y la presencia de recursos hídricos sensibles (Yunda, 2019). Para abordar estos desafíos, es fundamental contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales adaptados a las necesidades específicas de las zonas rurales, considerando aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Hoy en día la Empresa Pública Municipal De Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento De Cuenca (ETAPA EP) es la encargada de administrar las plantas de tratamiento urbanas y rurales de la ciudad generando grandes inversiones de dinero en el mantenimiento de sus sistemas, esto crea la necesidad de un análisis para determinar si estos recursos son empleados correctamente; caso contrario puede resultar en un tratamiento con tecnologías inadecuadas, deficiencias en remoción de contaminantes, y falta de sostenibilidad financiera.

Con información proporcionada por ETAPA EP se ha definido que para el año 2022 la ciudad no cuenta con un análisis de operabilidad de las PTARs rurales, además la información hasta el año 2021 con la que disponen en sus registros de mantenimiento no es suficiente para determinar una tendencia en costos de operación y eficiencias de cada una de las PTARs sino que debe ser actualizada constantemente a medida que se hagan cambios y mejoras para encontrar el punto óptimo de gestión.

ETAPA EP cuenta con 22 PTARs rurales, y en sus registros se especificaron algunos cambios o intervenciones realizadas en el año 2021 en ciertos sistemas. Por ejemplo, en Acchayacu se sustituyó el filtro anaerobio por un humedal vertical, por otro lado, en la planta del Chorro se

reemplazó la grava del filtro anaerobio, y de igual manera los filtros anaerobios fueron cambiados para las plantas de Cementerio, Guabo y Laureles.

Con el fin de evaluar las tecnologías utilizadas, los procesos de tratamiento implementados, la eficiencia en la remoción de contaminantes y los desafíos de disposición de los recursos este trabajo se planteó para realizar un análisis comparativo entre cada una de las PTARs rurales de la ciudad tomando en cuenta las intervenciones que se describieron anteriormente, lo que permitirá dar validez o descartar que los sistemas de tratamiento que se empleen sean los adecuados en cuanto a costos y su ubicación.

El análisis comparativo tiene el enfoque de realizar un contraste de los costos generados por la operación de cada una de las PTARs rurales del cantón a partir del año 2015 hasta el año 2022 ya que se cuentan con registros de estas fechas, y así determinar si los recursos del último año han sido empleados óptimamente sin afectar la calidad del tratamiento de las aguas residuales para que ETAPA EP pueda brindar excelentes servicios a bajos costos referenciales. En consecuencia a la propuesta de este trabajo, la Empresa Pública Municipal ETAPA EP ha proporcionado la información requerida para llevar a cabo el análisis presentado. La comparación se basará en los resultados de los ensayos de laboratorio que la empresa ha recopilado hasta el año 2022 centrándose en cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes**

Las plantas de tratamiento en el cantón Cuenca son operadas por la Empresa Pública Municipal De Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento De Cuenca

(ETAPA EP), en la actualidad se dispone de información de los gastos relacionados con el mantenimiento y remoción de contaminantes de las aguas residuales de las PTARs rurales por parte de la empresa hasta el año 2021, adicionalmente se cuenta con estudios anteriores realizados por Yunda (2019) y Gallegos & Peñafiel (2022). A fin de establecer si los recursos humanos, insumos y métodos de tratamiento empleados por parte de ETAPA EP en el año 2022 son los adecuados para remover de manera óptima los contaminantes de las aguas residuales, es necesario realizar una actualización al análisis de costos operacionales y eficiencias de las PTARs rurales del cantón Cuenca y así validar su sostenibilidad económica a largo plazo. Para ello es preciso una comparación de los costos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del año 2021 con el año 2022 prestando mayor atención en aquellas que se realizaron intervenciones en sus sistemas, con lo que se verificará si estos gastos aumentaron o disminuyeron mejorando las eficiencias y así proponer recomendaciones oportunas que permitan optimizar los recursos en base a las actividades que registra la entidad.

## **2.2.Importancia y alcances**

La gestión adecuada de las aguas residuales es fundamental para proteger la salud pública y el medio ambiente. En el ámbito de operación y eficiencia en remoción de contaminantes, si las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales no funcionan de manera efectiva, los desechos humanos y otros contaminantes pueden acabar en los ríos y en el suelo, lo que puede tener graves consecuencias para la salud de las personas y la biodiversidad del área. La gestión adecuada de las aguas residuales puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en áreas rurales, al reducir los olores desagradables y la contaminación de las fuentes de agua potable. Financieramente, según Yunda (2019) la actualización de los costos operativos y la mejora de las

eficiencias de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca también puede tener beneficios económicos y sociales para la comunidad debido que al ser descentralizadas permiten gestionar las aguas domésticas particularmente y no requieren enormes cantidades de inversión de capital para su funcionamiento como sucede en las plantas centralizadas como es el caso de Ucubamba que trata grandes volúmenes de agua.

Según la norma ISO 14001:2015 de Sistemas de Gestión Ambiental, la empresa ETAPA EP, es una organización esencial que nos permite identificar los aspectos ambientales de las actividades, productos o servicios que pueden interactuar con el medio ambiente y, por lo tanto, identificar los impactos ambientales potenciales que se deben evaluar. En este sentido, el tema de eficiencias de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca es importante para identificar los impactos ambientales relacionados con la gestión de aguas residuales en las zonas rurales, lo que puede contribuir a la protección del medio ambiente.

Además, la actualización de los costos operativos puede permitir a las autoridades locales utilizar de manera más efectiva los recursos públicos para garantizar un mejor servicio y una mayor cobertura de tratamiento de aguas residuales en las áreas rurales del cantón, también puede ayudar a mejorar la imagen del cantón Cuenca como una comunidad comprometida con la protección del medio ambiente y el bienestar de sus ciudadanos.

De esta manera, la actualización de costos operativos y determinación de eficiencias en remoción de contaminantes de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca es un tema socialmente relevante porque puede contribuir a proteger la salud pública y el medio ambiente, mejorar la calidad de vida de las personas, utilizar de manera más efectiva los recursos públicos y mejorar la imagen de la comunidad.

### 2.3.Delimitación

Las plantas de tratamiento que han sido consideradas se encuentran situadas al sur del austro ecuatoriano en la provincia del Azuay específicamente en el Cantón Cuenca distribuidas en diferentes parroquias rurales de la Ciudad (Ver **Mapa 2-1**).

El cantón limita al norte con la provincia del Cañar, al sur con Girón, San Fernando y Santa Isabel, al este con los cantones de Paute Gualaceo y Sígsig mientras que al oeste con la provincia del Guayas. Los datos se recolectaron directamente de la empresa ETAPA EP que facilita resultados de laboratorio y a su vez instructivos e identificativos de tomas de muestra en las diferentes plantas de tratamiento evaluadas. Todo esto permitió conocer los sistemas de tratamiento que cada planta dispone y cambios realizados durante el periodo analizado, con un total de 22 plantas de aguas de tratamiento las cuales son:

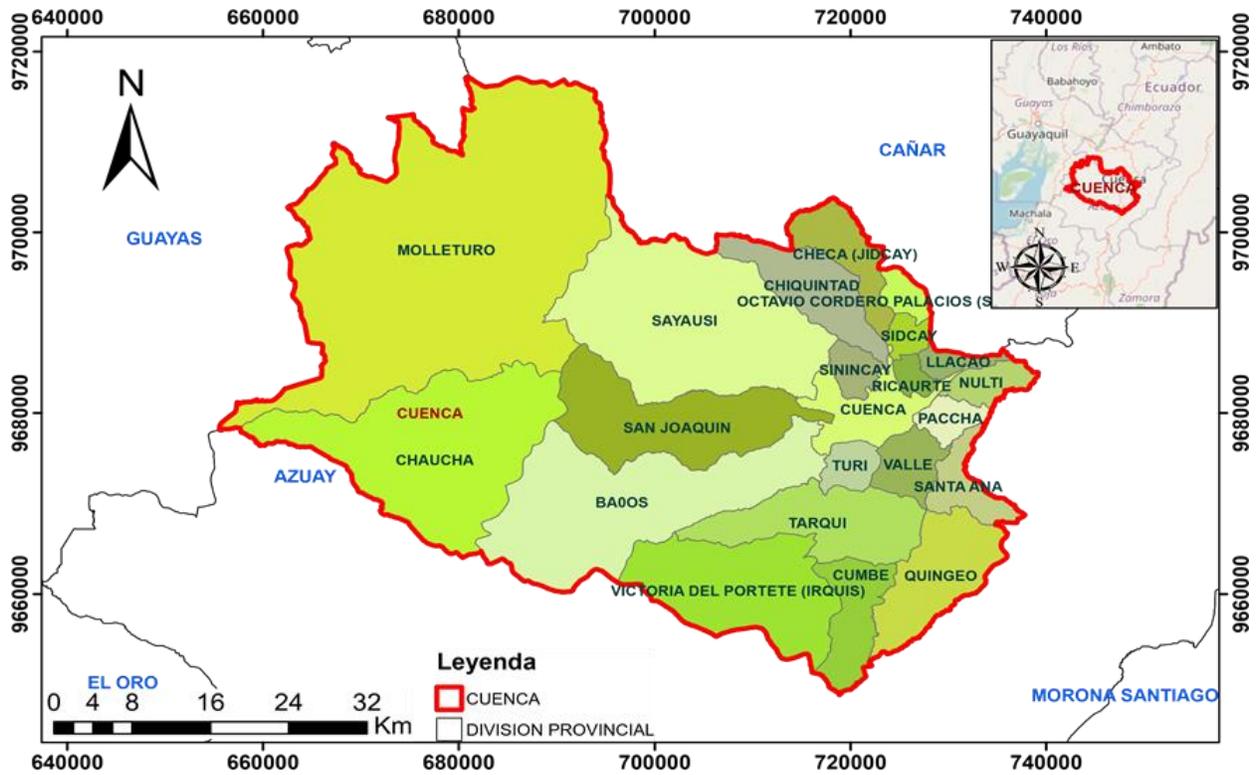
- 1) Cementerio, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 2) Churuguzo, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 3) Cumbe, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 4) El Chorro, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 5) Escaleras, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 6) Macas, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 7) Molleturo, con un sistema de tratamiento ED+FA.
- 8) Monjas, con un sistema de tratamiento ED+HA.
- 9) Quillopungo, con un sistema de tratamiento ED+RA+FA.
- 10) Quingeo, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 11) Santa Barbara, con un sistema de tratamiento FS+FA.

- 12) Acchayacu, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 13) Bella unión, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 14) Guabo, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 15) Laureles, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 16) Octavio cordero, con un sistema de tratamiento FS+HA.
- 17) San Pedro, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 18) Soldados, con un sistema de tratamiento ED+FS+HA.
- 19) Tarqui, con un sistema de tratamiento ED+FS+HA.
- 20) Tutupali, con un sistema de tratamiento ED+FS+FA.
- 21) Pillachiquir, con un sistema de tratamiento FS+FA.
- 22) San Gabriel, con un sistema de tratamiento FS+FA.

Donde ED representa las estructuras de desbordamiento (cribado y sedimentador), FS fosa séptica, FA filtros anaerobios, HA humedal artificial y RA es reactor anaerobio.

## Mapa 2-1

### Ubicación y parroquias del cantón Cuenca



Fuente: Elaboración Propia

Es fundamental tomar en cuenta los cambios efectuados por la empresa ETAPA EP, esto va a influir considerablemente en los costos de operación afectando también a la eficiencia de las plantas de tratamiento.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1.Objetivo general**

Realizar un análisis comparativo actualizado de los costos operativos y las eficiencias de cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca.

#### **3.2.Objetivos Específicos**

- Determinar costos operativos de las PTARs del cantón Cuenca, considerando cambios operativos del año 2021 hasta el año 2022.
- Calcular y comparar las eficiencias de tratamiento de las PTARs rurales con respecto a los costos operativos.
- Validar que los sistemas de tratamiento de aguas residuales sean la opción correcta con respecto a los costos operativos y la zona de su ubicación.

### **4. MARCO TEORICO REFERENCIAL**

#### **4.1.Plantas de aguas residuales**

La construcción y elaboración de plantas de tratamiento de aguas residuales inició hacia aproximadamente 150 años, por la presencia justamente de organismo patógenos. Las aguas residuales se originan en las industrias, oficinas, instituciones y hogares, y gran parte de estas aguas pueden ser diluidas con el agua de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas. El tratamiento de las aguas residuales debe realizarse antes de su descarga en los cuerpos receptores para prevenir consecuencias dañinas sobre la salud de la humanidad y el medio ambiente en general, como la

generación de contaminantes tóxicos, malos olores que agotan el oxígeno disuelto y la liberación de nutrientes (Madalengoitia, 2021).

Madalengoitia, L (2021) define entonces a una planta de tratamiento de agua residual como el conjunto de sistemas conectados en diferentes procesos para cada etapa de su tratamiento con el fin de disminuir la carga contaminante del efluente para ser devuelto en mejores condiciones a un ecosistema. Aunque los métodos de tratamiento que se aplican pueden causar otros efectos secundarios como la liberación de gases al medio ambiente.

En el libro de Metcalf & Eddy (2014) se expone que el tratamiento de las aguas residuales se puede lograr mediante la combinación de una variedad de procesos físicos (por ejemplo, cribado, sedimentación, filtración), químicos (como la coagulación y oxidación), térmicos (por ejemplo, secado, incineración) y biológicos (en sistemas de biomasa suspendida o fija).

## **4.2.Métodos de tratamiento**

Los métodos de tratamiento van a depender del tipo de agua a ser tratada, en alguna casa es conveniente combinar los tratamientos para obtener una mejor eficiencia del proceso ya que el agua residual puede contener compuestos de toda naturaleza.

### **4.2.1. Métodos de tratamientos físicos**

Se llevan a cabo cambios por medio de la aplicación de fuerzas físicas, algunas de las unidades básicas son cribado, mezclado, adsorción, transferencia de gas, flotación, sedimentación y filtración (Metcalf & Eddy, 2014)

Se llevan a cabo cambios por medio de la aplicación de fuerzas físicas, las unidades básicas son cribado, mezclado, adsorción, transferencia de gas, flotación, sedimentación y filtración. (Pineda, 2017).

Gallegos & Peñafiel (2022) presentan las siguientes definiciones y a su vez el proceso en el cual se realiza este método de tratamientos físicos:

- 1) **Cribado y tamices:** Las sustancias sólidas son eliminadas del agua.
- 2) **Filtración:** Los líquidos son despojados de las sustancias sólidas.
- 3) **Microfiltración:** Disgrega levaduras, bacterias y partículas.
- 4) **Ultrafiltración:** La turbiedad del agua junto con microorganismos y proteínas es filtrada.
- 5) **Nanofiltración:** Virus, moléculas, iones de metales pesados y partículas pequeñas se separan.
- 6) **Osmosis inversa:** Se purifica el agua.
- 7) **Flotación:** Se emplean burbujas de aire para que las sustancias como grasas y aceites que se suspenden en la superficie de los líquidos puedan ser removidos.
- 8) **Sedimentación:** La gravedad es el factor principal para que las sustancias sólidas se precipiten al fondo de tanques sedimentadores.

#### **4.2.2. Métodos de tratamientos químicos**

Tratamientos en los cuales la remoción de contaminantes se realiza por medio de adición de reactivos donde ocurren reacciones químicas, como el ajuste de pH, coagulación y desinfección. (Metcalf & Eddy, 2014).

Gallegos & Peñafiel (2022) presentan las siguientes definiciones y a su vez el proceso en el cual se realiza este método de tratamientos químicos:

- 1) **Oxidación/reducción:** Los pesticidas e hidrocarburos clorados son eliminados mediante procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno y ozono.
- 2) **Adsorción y quimisorción:** El carbón activo es el principal material que se utiliza para eliminar sustancias como metales pesados y arsénico que no pueden ser eliminados del agua.
- 3) **Precipitación:** Se utiliza un procedo químico para disolver una sustancia que permita una separación de los metales pesados que son difícilmente soluble.
- 4) **Floculación:** Se emplean floculantes como aditivos químicos que separen las partículas finas que están suspendidas en el agua.
- 5) **Intercambiador de iones:** Se ionizan los equipos con un recubrimiento galvánico para intercambiar iones de una solución con otra.

#### 4.2.3. Métodos de Tratamientos biológicos

En este procedimiento las bacterias cumplen el rol que realizarían comúnmente en un ecosistema, actúan en los procesos naturales con elementos como el carbono, nitrógeno y fósforo, gracias a estas bacterias se cumple un rol de bioconversión que acompañado de la aireación y con la biomasa suficiente puede satisfacer los requerimientos puede eliminar los elementos. Además, “El diseño de los procesos biológicos se basa en la creación y explotación de nichos ecológicos para seleccionar microorganismos mejores adaptados que puedan reproducirse bajo esas condiciones ambientales” (López et al., 2017).

La oxidación biológica de elementos orgánicos elimina los contaminantes , los lodos activados son una técnica conocida para deshacerse entonces de compuestos orgánicos biodegradables (Pineda, 2017).

El objetivo principal de los tratamientos biológicos en aguas residuales es la remoción de los sólidos coloidales, que no se sedimentan y los sólidos disueltos, de tal modo que esto permita estabilizar la materia orgánica. Para las aguas municipales se quiere reducir el contenido orgánico o los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Pineda, 2017). En tratamientos biológicos se encuentra tres principales que son:

- a) Remoción biológica de carbonos
- b) Remoción biológica de fósforo
- c) Remoción biológica de nitrógeno

#### **4.2.4. Tratamiento con lodos activados**

Un proceso de tratamiento que utiliza el método de lodos activos se fundamenta en el empleo de microorganismos que se encargan de convertir la materia orgánica en nuevas bacterias liberando dióxido de carbono y agua; las bacterias heterótrofas facultativas son las que se usan comúnmente para este proceso (Romero, 2004).

Según (Escalante et al., 2006) presentan las siguientes definiciones para los siguientes componentes de un sistema de lodos activados:

- 1) El reactor o el tanque de aireación:** es donde los microorganismos se mantienen en suspensión y aireados. Es la parte fundamental de un sistema de lodos activados, su

diseño y operación dependen de numerosas variables como la carga orgánica, la temperatura o la presencia de sustancias tóxicas.

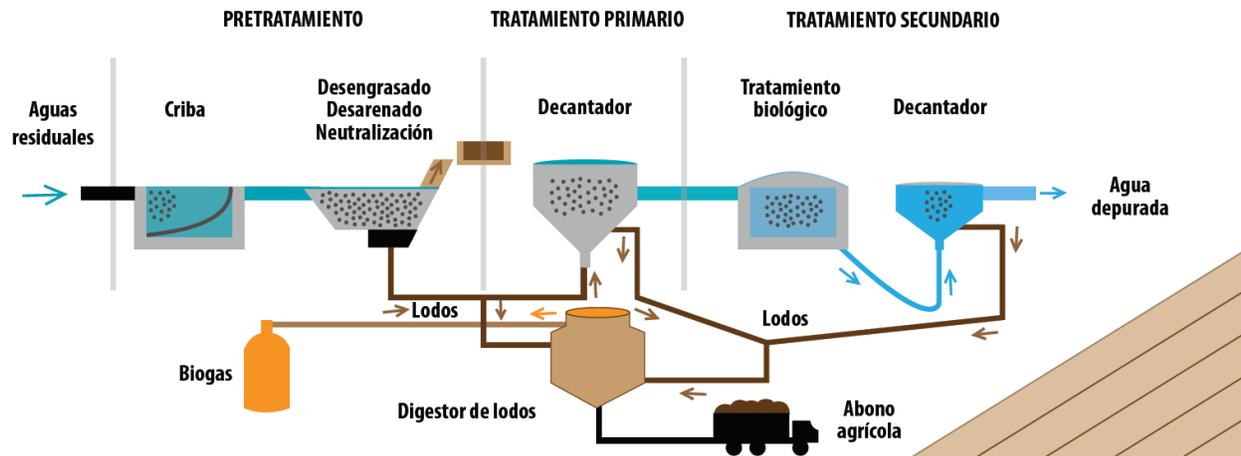
- 2) **Fuente de aireación:** permite airear y transferir el oxígeno al sistema. Puede ser un soplador con difusores, aireación mecánica o a través de la inyección de oxígeno puro.
- 3) **Sistema de separación de sólidos (tanque de sedimentación):** se utiliza para separar los sólidos biológicos del agua tratada.
- 4) **Sistema de tuberías y bombas:** sirve para recircular los sólidos biológicos (microorganismos y sólidos inertes) del sedimentador al reactor biológico. Este proceso también se le conoce como la “recirculación de lodos activados”.
- 5) **Tubería de desecho:** se desechan lodos biológicos del sistema que quedan en exceso. A este proceso también se denomina “purga de lodos”.

#### **4.2.4.1. Tratamiento convencional para aguas residuales con lodos activados.**

Considerando obtener un correcto proceso de tratamiento de agua residual se tiene en cuenta las diferentes etapas primordiales, en la **Ilustración 4-1** se muestran las etapas principales que conforman a una PTAR para su correcto funcionamiento junto con la recirculación de lodos que es importante para purgar el sistema (Ocampo, 2019).

## Ilustración 4-1

### *Etapas convencionales de una PTAR*



*Fuente:* (Ocampo, 2019)

### 4.3. Variables operativas

Las actividades de mantenimiento y los suministros necesarios se consideran como variables operativas para garantizar el correcto funcionamiento continuo de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) a lo largo del tiempo. Los trabajos realizados se clasifican en función de los componentes específicos de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) en los que se llevan a cabo (Gallegos & Peñafiel, 2022).

#### **4.3.1. Estructuras de ingreso**

Estas estructuras son las encargadas de retener sólidos de mediano y gran tamaño a la entrada del sistema, cuando se requiere de reparaciones también cierran el paso del agua permitiendo que partículas más pequeñas como arenas se asienten en el fondo (Ocampo, 2019).

Las estructuras de entrada, como cámaras derivadoras, rejillas, desarenador, distribuidor de caudal y pozos internos, desempeñan un papel crucial en la prevención de la entrada de sólidos de gran tamaño. Por lo tanto, es necesario realizar una limpieza regular de las rejillas o depósitos, ya que se acumulan residuos que obstaculizan el flujo hacia la planta de tratamiento. Estos residuos pueden ser sometidos a diversos procesos, como incineración, enterramiento, digestión, vertido en cuerpos de agua o trituración, dependiendo de la coordinación y programación establecida por la empresa ETAPA EP (Greeley and Hasen, 2017).

#### **4.3.2. Fosa séptica**

Una fosa séptica es una estructura de drenaje en la que fluyen las aguas residuales con el propósito de que los sólidos sedimentables se depositen en el fondo del tanque, donde ocurre una descomposición anaerobia. Como resultado de este proceso, parte de la materia orgánica en suspensión se convierte en gas, lo que permite disminuir la cantidad de lodos que deben eliminarse. Sin embargo debido a que no se pueden eliminar todos los lodos pueden eliminarse mediante este proceso, es necesario limpiar la fosa séptica cada tres a seis meses (Escalante et al., 2006).

La frecuencia de limpieza de la fosa está directamente relacionada con su función y nivel de uso, ya que a mayor uso, se requerirá una limpieza más frecuente. Por lo general, se recomienda realizar una limpieza anualmente. Para llevar a cabo el proceso de limpieza, se esparce cal

hidratada en la superficie de la fosa y se mezcla adecuadamente. Este procedimiento se conoce como mitigación alcalina. Es importante tener en cuenta que el tanque no debe ser completamente despojado de lodo, sino que se debe dejar una capa de aproximadamente 10 centímetros para facilitar el proceso de hidrólisis de las nuevas aguas residuales. El residuo resultante de esta tarea deberá ser enterrado o secado para su tratamiento posterior (Greeley and Hasen, 2017).

### **4.3.3. Filtro anaerobio**

El filtro anaerobio es un sistema de tratamiento de aguas residuales en un pozo de flujo ascendente, que está lleno de diferentes materiales que se utilizan para tratar la materia orgánica carbonosa presente en el agua residual. Las bacterias anaerobias se adhieren a estos materiales y no se desplazan, lo que permite un tiempo de retención celular de aproximadamente 100 días. Estos filtros son eficaces para tratar residuos con baja concentración a una temperatura ambiente (Metcalf & Eddy, 2014).

El mantenimiento del filtro anaerobio requiere de un proceso específico. Primero, se debe permitir la ventilación durante 15 minutos para inspeccionar el sistema de recolección de agua filtrada, ya que tiende a obstruirse con el tiempo. Se recomienda una limpieza con varilla o pala mensualmente. A continuación, se debe observar el efluente del filtro para definir turbidez en el agua para indicar la necesidad de una limpieza. La limpieza se realiza abriendo la válvula de purga del filtro para lavar en la superficie del empaque con agua a presión, comenzando desde la parte inferior hacia arriba (Pulla & Tapia, 2018).

#### **4.3.4. Reactor anaerobio**

El mantenimiento adecuado de este sistema implica que el operador realice inspecciones diarias para verificar que las tuberías del reactor no estén obstruidas por objetos de gran tamaño. En caso de encontrar alguna obstrucción, se debe retirar de inmediato utilizando una pala o rastrillo. El reactor anaerobio se refiere a un sistema de un solo tanque de flujo ascendente en el que un lodo suspendido trata las aguas residuales a medida que pasan a través del sistema (Escalante et al., 2006).

La purga del reactor anaerobio de filtro ascendente (RAFA), se realiza cuando haya una liberación excesiva de lodos en el flujo de entrada, lo cual indica que RAFA ha alcanzado su punto de saturación. Durante el proceso de purga, se extraen los lodos utilizando una bomba especializada, para dejar una delgada capa de lodos con un espesor de 15 a 20 cm para permitir el desarrollo de una nueva colonia de microorganismos digestores (Escalante et al., 2006).

#### **4.3.5. Humedal**

Los humedales son contruidos de manera antrópica, con especies de plantas, microorganismos y un suelo para sanear las aguas residuales, el mecanismo natural funciona con la actividad de estos microorganismos, el oxígeno de las plantas y una base que permite el crecimiento de las raíces. La ventaja que tiene este tipo de tratamiento es que no necesita constante mantenimiento, pero si una supervisión periódica que evite obstrucciones en las redes de distribución del sistema. Los humedales crecen exitosamente cuando se cuida de la presencia de plantas invasoras (Escalante et al., 2006).

#### **4.3.6. Mantenimiento de acceso a la Planta de Tratamiento.**

Para un correcto mantenimiento se deben tener en cuenta ciertos parámetros generales para que las plantas de tratamiento de aguas residuales puedan funcionar con normalidad en un ambiente favorable. Primeramente, se debe mantener totalmente limpia y ordenada la PTAR, esto incluye realizar inspecciones constantemente de los candados de las puertas de acceso, revisar los cerramientos, podar la vegetación, retirar la acumulación de materiales y la siembra de plantas ornamentales. Se deberá también llevar registros de las reparaciones y manipulaciones que se den en las instalaciones de protección y válvulas. Además, se deberá contar con un programa de mantenimiento rutinario como pintura, limpieza de tapa, compuertas, rejas, vertederos, etc. (Greeley and Hansen & ACSAM Consultores, 2017).

#### **4.4. Características de las aguas tratadas**

##### **4.4.1. Aguas tratadas por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

El ensayo del DBO mide el oxígeno consumido para la oxidación de una parte de la materia orgánica. Tiene un uso muy extendido debido a que tiene su origen en el control de efluentes. Un ensayo promedio tiene una duración de 5 días, pero, en algunos casos se pueden usar otras alternativas en donde se podría estimar el valor de DBO con una única medida. (Greeley and Hansen & ACSAM Consultores, 2017).

##### **4.4.2. Aguas tratadas por Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La determinación del DQO se mide mediante la oxidación química con bicromato, que es la mayoría de la materia orgánica presente en la muestra; no obstante, la determinación de la DQO

es necesaria para los balances de masa en el tratamiento de aguas residuales. El contenido de DQO se puede subdividir en fracciones útiles para el análisis y diseño de los procesos de tratamiento. (López Vázquez et al., 2017).

#### **4.4.3. Aguas tratadas por Fosforo Total (PT)**

Considerando la relevancia del fósforo como un nutriente crucial, su cuantificación es imprescindible en los procesos de tratamiento de aguas residuales. La liberación de **1.0g** de fósforo, en un lago, puede permitir la formación de más de **100.0g** de biomasa, la cual representa una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de **150.0g** de oxígeno para su oxidación aerobia. Además, esto puede generar problemas de eutrofización y proliferación de fitoplancton en el cuerpo de agua (López et al., 2017).

#### **4.4.4. Aguas tratadas por Nitrógeno Orgánico (NOrg)**

Se emplea un método para la medición de los lodos, cuyos resultados se expresan en miligramos por litro de nitrógeno (N). En muchas muestras de agua se encuentran presentes pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal de manera natural, mientras que en otros casos puede estar presente debido a la aplicación conjunta de cloro para formar un residual de cloro combinado. Las aguas residuales domésticas crudas suelen contener alrededor de 10 a 25 miligramos por litro de nitrógeno amoniacal. Si se produce un aumento repentino en el contenido normal de nitrógeno amoniacal en el agua, esto indica la presencia de contaminación por aguas residuales y un correspondiente incremento en la demanda de cloro (López et al., 2017).

#### **4.4.5. Aguas tratadas por Sólidos sedimentables (SS)**

Los sólidos sedimentables se refieren a aquellos que se depositan después de que una muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff durante una hora. Estos sólidos consisten en componentes inorgánicos que pueden ser biológicamente utilizados para la absorción de biomasa, la cual se convierte o transforma en forma gaseosa. Estos gases son liberados a la atmósfera (López et al., 2017).

#### **4.4.6. Aguas tratadas por Sólidos Totales (ST)**

El residuo obtenido después de someter el agua a un proceso de evaporación se conoce como material residual. Este material puede ser clasificado según su volatilidad, específicamente a temperaturas de  $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A estas temperaturas, la fracción orgánica presente en el material residual se oxidará y se convertirá en gas, dejando una fracción inorgánica en forma de ceniza (Once & Herrera, 2014).

#### **4.4.7. Aguas tratadas por Sólidos Suspendidos (SST)**

La masa total de sólidos sedimentables en el reactor se calcula como la suma de las masas de los sólidos de lodos presentes. Esto se debe a que toda la materia orgánica biodegradable en el influente se convierte en biomasa de organismos heterótrofos (OHOs). Al conocer la masa total en el reactor, el volumen del reactor se determina utilizando un valor específico para la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado (López et al., 2017).

#### **4.4.8. Aguas tratadas por Coliformes Totales (CT)**

Los coliformes son microorganismos en forma de bacilos cortos que se caracterizan por ser bacterias aerobias o anaerobias facultativas capaces de fermentar la lactosa y producir gas como subproducto. Las especies bacterianas más comunes que pertenecen al grupo de los coliformes son *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Enterobacter aerogenes*. Sin embargo, existen más de veinte especies que cumplen con estos criterios (Greeley and Hasen, 2017).

#### **4.4.9. Aguas tratadas por Coliformes Fecales (CF)**

En los laboratorios, se lleva a cabo la determinación de coliformes mediante la siembra en medios de cultivo específicos. Después de un período de tiempo establecido, se cuentan las colonias formadas utilizando la técnica de filtro de membrana o se observa la formación de gas como resultado del proceso de fermentación de la lactosa mediante la técnica de flujo múltiple. Si no se detectan coliformes en el análisis, se puede afirmar que no hay presencia de microorganismos o contaminación de origen fecal (Once & Herrera, 2014).

#### **4.4.10. Oxígeno Disuelto**

Las Naciones Unidas (2005) definen el oxígeno disuelto como “la cantidad efectiva de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ) en el agua, expresada en términos de su presencia en el volumen de agua (miligramos de  $O$ , por litro) ó de su proporción en el agua saturada (porcentaje)”.

## **4.5. Procesos de tratamientos convencionales de aguas residuales**

Actualmente existen tres etapas en el tratamiento de aguas servidas los cuales se han comprobado su eficacia a lo largo de los últimos años, estos tratamientos son primario, secundario y terciario. (De la Vega, 2012).

### **4.5.1. Tratamiento primario**

En tanques de sedimentación, se retira de manera física los sólidos que se encuentren dentro del caudal a tratar. Posteriormente este caudal pasará al tratamiento secundario, he ahí la importancia de esta primera etapa, ya que la función esencial es proteger el equipo que este a continuación en el tratamiento secundario; no obstante, otro método que se puede usar es retirando los sólidos presentes por medio del cribado (Baeza, 2018).

### **4.5.2. Tratamiento secundario**

En esta etapa, el objetivo de este tratamiento es fundamentalmente la remoción de DBO5 disuelto y sólidos suspendidos, mediante el cual se procede a hacer la limpieza biológica del agua; para ello, se pueden usar diferentes tipos de tratamientos como pueden ser los lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación. Para la elección de uno de estos, se tendrá en cuenta principalmente el gasto energético (Baeza, 2018).

### **4.5.3. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario no es más que purificar y mejorar la calidad del agua para así poder devolver a la naturaleza de manera óptima. (De la Vega, 2012). De los cuales los tipos más conocido son:

- Humedales (Wetland)
- Rafa, Wasb+Humedal
- Tanque Imhoff+Wetland
- Sedimentación

### **4.6.Toma de muestras**

Las muestras de aguas residuales deben ser realizadas constantemente para establecer que se cumpla con la eliminación de contaminantes de manera correcta, pueden ser del tipo instantáneo o compuesto. (Greeley and Hansen & ACSAM Consultores, 2017) .

#### **4.6.1. Muestras instantáneas**

Las muestras instantáneas son importantes, debido a que es excesivamente costoso tener y operar equipos de muestro automáticos para las muestras compuestas en todos los puntos en los cuales se deben recoger muestras. Además, es deseable tener con frecuencia, un indicativo instantáneo de las condiciones del proceso, tal como es suministrado por las muestras instantáneas. (Greeley and Hansen & ACSAM Consultores, 2017)

#### **4.6.2. Muestras compuestas**

Se prevé que los tomamuestras para las muestras compuestas estarán disponibles para las aguas residuales del afluente y para el caudal que entra y sale del tratamiento biológico.

#### **4.6.3. Muestreo.**

En una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es esencial llevar a cabo muestreos del agua tratada con el fin de verificar el cumplimiento adecuado de los procesos de depuración y garantizar que las cargas vertidas en los cuerpos receptores cumplan con los límites permitidos. Para este propósito, se requiere el uso de recipientes limpios y en óptimas condiciones. Estos recipientes se utilizan para recolectar muestras directamente del vertedero. Una vez obtenida la muestra, se coloca en un contenedor con hielo para mantenerla a una temperatura promedio de 4°C y así prevenir alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas. Este procedimiento asegura la integridad de las muestras durante su transporte y preserva su calidad para el posterior análisis (Greeley and Hasen, 2017).

##### **4.6.3.1. Muestras de agua residuales.**

El manual de operaciones y mantenimiento de la empresa ETAPA EP establece los procedimientos para la toma de muestras de aguas residuales, distinguiendo entre muestras instantáneas y compuestas. Durante el muestreo, el operador deberá completar el formulario correspondiente que incluye la información que se muestra en la **Tabla 4-1** .

**Tabla 4-1**

*Formulario guía de muestreo a llenar por el operador*

<b>Hora de recolección:</b>	
<b>Enjuague del recipiente (SI/NO):</b>	
<b>Envases estériles (SI/NO):</b>	
<b>Llenado de envases (Muestra físico-químico) (SI/NO):</b>	
<b>Llenado de envases 3/4 (Muestra bacteriológicas) (SI/NO):</b>	
<b>Cerrado de envases de inmediato (SI/NO):</b>	
<b>Etiquetado y guardado (SI/NO):</b>	
<b>Hora de entrega:</b>	

*Fuente:* (ETAPA EP, 2022)

De acuerdo con Greeley and Hansen (2017), el personal operativo de cada planta de tratamiento sigue el manual de operación y mantenimiento, el cual establece lo siguiente:

Las muestras instantáneas se obtienen sumergiendo una botella de recolección directamente en las aguas residuales, permitiendo obtener resultados que reflejen las características del agua residual en el momento exacto de la toma de muestra.

Por otro lado, las muestras compuestas se recolectan utilizando dispositivos de muestreo automáticos que extraen periódicamente una muestra del agua (o corriente del agua) y la depositan en una botella de recolección.

Con el fin de reducir la velocidad de las reacciones químicas, las botellas de recolección se mantienen refrigeradas dentro de los dispositivos de muestreo. Se espera que los dispositivos de muestreo para las muestras compuestas estén disponibles tanto para el agua residual entrante como para el caudal que sale del tratamiento biológico. Las muestras compuestas proporcionan principalmente un promedio de las condiciones durante un período de 24 horas.

Las muestras instantáneas se toman sumergiendo una botella de recolección en las aguas residuales, para suministrar resultados que mostrarán las características de las aguas residuales en el momento en que la muestra es recogida.

Las muestras instantáneas pueden suministrar un indicativo de las características de las aguas residuales en el instante exacto en que se toma la muestra, pero tienen la desventaja de no poder suministrar información acerca de si las condiciones indicadas son representativas de las concentraciones durante el día o solamente a corto plazo. Los parámetros que se examinan en el análisis fisicoquímico se muestran en la **Tabla 4-2**.

**Tabla 4-2**

*Parámetros de medición de muestra de las plantas de tratamiento*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>
PH	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
ALCALINIDAD	mg/l, CaCO <sub>4</sub>
CLORUROS	mg/l
NITRATOS	mg/l
NITRÓGENO AMONIACAL	mg/l
FÓSFORO REACTIVO	mg/l
DBO <sub>5</sub>	mg/l
DQO	mg/l
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l
SÓLIDOS TOTALES	mg/l
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml
COLIFORMES TOTALES TERMOTOLERANTES	NMP/100ml

*Fuente:* (ETAPA EP, 2022)

#### **4.7.Eficiencia**

Una eficiencia se entiende como la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función. (De la Vega, 2012b).

### **5. MARCO METODOLÓGICO**

La empresa ETAPA EP, considera diversos tipos de tratamientos de aguas residuales acorde a las necesidades, dotaciones, áreas de aporte y ubicaciones; estos son los determinantes para la selección del sistema de tratamiento y funcionamiento apropiado de las PTARs rurales del cantón Cuenca, los cuales se van a analizar, actualizar y comparar con el año 2021, año en el cual fue su última actualización.

#### **5.1.Proceso de actualización**

En una planta de tratamiento de aguas, se pueden implementar diversas estrategias y acciones con el objetivo de actualizar y mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes, así como reducir los costos operativos. Una de las formas de lograr esto es mediante la modernización de equipos y tecnologías utilizadas en los procesos de tratamiento. Asimismo, se pueden llevar a cabo labores de mantenimiento que involucran la inspección, reparación y sustitución de equipos, así como el control y monitoreo constante de los procesos de tratamiento para asegurar su efectividad y eficiencia.

Adicionalmente, es posible realizar evaluaciones y análisis comparativos entre los costos operativos y la eficiencia de la planta, con el propósito de identificar áreas de mejora y reducción de costos. Estos procesos permiten identificar oportunidades de optimización y tomar decisiones fundamentadas para mejorar el rendimiento general de la planta de tratamiento. Es fundamental cumplir con los estándares de calidad y regulaciones ambientales establecidas, garantizando así la protección del medio ambiente y la salud pública.

### **5.1.1. Caudales**

Se recolectó información de la proyección de los caudales correspondientes a cada una de las PTARs a partir de los estudios realizados por Gallegos & Peñafiel (2022) en el cual estimaron en base a las áreas tributarias de cada uno de los sistemas el caudal correspondiente para cada año hasta el 2040 como se muestra en la **Tabla 5-1**.

## **5.2. Proceso de comparación**

Es importante tener en cuenta que el proceso específico de comparación de costos y eficiencias puede variar según la planta de tratamiento de aguas residuales y las circunstancias particulares. Para comparar los costos de operación y las eficiencias en una planta de tratamiento de aguas residuales se deben considerar los siguientes aspectos:

- 1) Identificar los costos de operación relevantes, como energía, mantenimiento, insumos, mano de obra, entre otros.
- 2) Evaluar la eficiencia de la planta midiendo la remoción de contaminantes, la calidad del efluente, el consumo de energía y otros indicadores relevantes.

- 3) Definir un período para la comparación, como un mes o un año.
- 4) Comparar los costos de operación totales en el período definido con la eficiencia de la planta en el mismo período.
- 5) Identificar las áreas donde se pueden reducir costos y mejorar la eficiencia, como insumos costosos, equipos obsoletos o procesos ineficientes.
- 6) Diseñar un plan de acción para implementar mejoras en la planta y monitorear los resultados para garantizar el cumplimiento de los objetivos de reducción de costos y mejora de la eficiencia.

### **5.2.1. Primera Etapa**

Se deben registrar todas las actividades que se realizan en las distintas estructuras de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), como la estructura de ingreso, la fosa séptica, el filtro anaerobio, el reactor anaerobio y el humedal, así como los accesos a estas estructuras. Para ello, se utilizan formularios de muestreo y se registran los datos en una hoja de Microsoft Excel, Además, se registra la información relativa a los equipos e insumos necesarios para el mantenimiento, como el vehículo, la bomba, la cal, la gasolina, los envases y los guantes (Gallegos & Peñafiel, 2022).

### 5.2.1.1. Determinación de los Costos Operativos

En el cálculo de los costos operativos, se consideraron las actividades realizadas por el personal para el funcionamiento de la planta, como se mencionó anteriormente. En este subcapítulo, se detallan los costos asociados a estas actividades y el procedimiento utilizado para obtener el costo por metro cúbico de agua tratada.

Primero, las actividades se dividen en secciones y se clasifican de acuerdo al tipo de acciones realizadas en cada estructura, así como las herramientas requeridas para el mantenimiento. En la **Tabla 5-2** y **Tabla 5-3** se muestra la organización de las actividades para la estación San Pedro a partir de enero de 2022, donde las x marcan las actividades que se ejecutaron según el día de la visita, las x en las columnas de mantenimiento y muestreo se sumaron para establecer el número de visitas totales que se realizaron por cada mes; y la línea amarilla ha sido trazada para distinguir cada uno de los meses del año mencionado.

Una vez que se han ordenado los equipos, suministros y acciones, se determina el personal encargado de cada tarea de mantenimiento. Según la información proporcionada por la empresa ETAPA EP, se sabe que cada equipo está conformado por seis personas para cada inspección. Este equipo incluye un conductor de cuadrilla, un conductor de ingeniero, un ingeniero, dos ayudantes y un albañil, como se muestra en la **Tabla 5-4**; se evidencia también que en las visitas a todas las PTARs para el año 2022 ha sido utilizado un único vehículo de transporte que tiene la numeración 648.

Para calcular el “Costo de personal por mantenimiento” como se especifica en la **Tabla 5-4** se han ingresado y sumado los sueldos definidos por ETAPA EP de cada trabajador que participó en el proceso de mantenimiento, a partir de ello este salario acumulado se dividió para un total de 22 días de trabajo que establece la empresa mes a mes obteniendo así el pago por día, consecuentemente el pago por día se divide para 8 horas que es el horario laboral y este último valor se procede a multiplicar por 2 horas que es el tiempo invertido por los trabajadores en la visita a una PTAR; esta sección se divide en dos columnas la primera solo considera al ingeniero supervisor y al chofer del mismo, mientras que la segunda a los trabajadores restantes, por facilidad en los cálculos.

Finalmente, los costos por insumos y vehículos usados que se muestran en la **Tabla 5-5**, se suman directamente según el día y los procedimientos que se han realizado, estos precios han sido puestos directamente en función a los valores fijados por ETAPA EP. Con los costos por personal, insumos y vehículos se realiza una ponderación en porcentajes para verificar que los cálculos se hayan realizado de manera correcta. Se puede apreciar que cuando no existen muestreos los costos más representativos corresponden al pago de personal; mientras que cuando si se realizan, los insumos son el rubro con mayor porcentaje en cuanto a costos de mantenimiento.

**Tabla 5-1**

*Caudales en l/s para las plantas rurales de la ciudad de Cuenca*

CAUDALES EN LITROS/SEGUNDO PARA TODAS LAS PTARs DESDE EL AÑO 2015 HASTA EL AÑO 2040																					
Año	PTAR																				
	Achayacu	Cementerio	Escaleras	Laureles	Octavio	Quillopungo	Quingeo	Tutupali	San Pedro	Bella Unión	Tarqui	Macas	Guabo	Churuguzo	Molleturo	Cumbe	Santa Barbara	Chorro	Monjas	Soldados	Jatumpamba (Checa)
2015	3,24	2,91	2,95	2,62	29,52	9,17	2,10	2,59	5,43	2,86	6,15	0,58	2,41	5,80	2,81	1,33	0,48	1,17	3,22	2,11	3,66
2016	3,24	2,91	2,98	2,62	29,54	9,22	2,10	2,63	5,44	2,87	6,16	0,58	2,42	5,86	2,81	1,33	0,48	1,17	3,22	2,11	3,66
2017	3,24	2,92	2,99	2,62	29,54	9,25	2,10	2,63	5,45	2,88	6,17	0,58	2,44	5,91	2,81	1,33	0,48	1,17	3,22	2,11	3,66
2018	3,24	2,92	3,00	2,63	29,59	9,29	2,10	2,64	5,46	2,90	6,17	0,58	2,45	5,96	2,81	1,33	0,48	1,17	3,22	2,11	3,66
2019	3,24	2,92	3,03	2,63	29,59	9,33	2,10	2,65	5,46	2,90	6,18	0,58	2,47	6,01	2,81	1,33	0,48	1,17	3,22	2,11	3,66
2020	3,24	2,93		2,63	29,59	9,36	2,10	2,71	5,46	2,91		0,58	2,48		2,81		0,48	1,18	3,22	2,11	3,66
2021	3,24	2,93		2,63	29,59	9,39	2,10	2,73	5,46	2,93		0,58	2,50		2,81		0,49	1,18	3,22	2,11	3,66
2022	3,24	2,93		2,63	29,59	9,44	2,10	2,73	5,47	2,94		0,58	2,50		2,81		0,49	1,19	3,22	2,11	3,66
2023	3,24	2,94		2,63	29,59	9,48	2,10	2,76	5,47	2,95		0,58	2,53		2,81		0,49	1,19	3,22	2,11	3,66
2024	3,24	2,90		2,63	29,62	9,52	2,10	2,76	5,48	2,97		0,58	2,54		2,81		0,49	1,20	3,22	2,11	3,66
2025	3,24	2,94		2,63	29,62	9,57	2,10	2,79	5,49	2,97		0,58	2,55		2,81		0,49	1,20	3,22	2,11	3,66
2026	3,24	2,96		2,64	29,62	9,59	2,10	2,81	5,49	2,99		0,58	2,56		2,81		0,49	1,21	3,22	2,11	3,67
2027	3,24	2,96		2,64	29,62	9,64	2,10	2,82	5,50	3,01		0,58	2,57		2,81		0,49	1,21	3,22	2,11	3,67
2028	3,24	2,97		2,65	29,62	9,70	2,10	2,85	5,50	3,02		0,58	2,59		2,81		0,49	1,21	3,22	2,11	3,67
2029	3,24	2,97		2,65	29,62	9,74	2,10	2,86	5,50	3,03		0,58	2,61		2,81		0,49	1,22	3,22	2,11	3,67
2030	3,24	2,97		2,65	29,62	9,77	2,10	2,90	5,51	3,05		0,58	2,61		2,81		0,49	1,22	3,22	2,11	3,67
2031	3,23	2,97	CERRADA	2,65	29,67	9,80	2,10	2,93	5,52	3,06		0,58	2,62		2,81		0,49	1,22	3,22	2,11	3,67
2032	3,23	2,98		2,66	29,67	9,87	2,10	2,93	5,53	3,08		0,58	2,64		2,81		0,49	1,23	3,22	2,11	3,67
2033	3,23	2,99		2,66	29,79	9,91	2,10	2,96	5,53	3,09		0,58	2,65		2,81		0,49	1,24	3,22	2,11	3,67
2034	3,23	2,99		2,66	29,79	9,94	2,10	3,01	5,54	3,11		0,58	2,67		2,81		0,49	1,24	3,22	2,11	3,67
2035	3,23	2,99		2,66	29,87	9,96	2,10	3,03	5,55	3,12		0,58	2,69		2,81		0,49	1,24	3,22	2,11	3,68
2036	3,23	2,99		2,67	29,87	10,01	2,10	3,06	5,56	3,14		0,58	2,70		2,81		0,49	1,25	3,22	2,11	3,68
2037	3,23	2,99		2,68	29,91	10,07	2,10	3,09	5,56	3,15		0,58	2,72		2,81		0,49	1,25	3,22	2,11	3,68
2038	3,23	3,00		2,68	29,91	10,12	2,10	3,13	5,57	3,17		0,58	2,74		2,81		0,50	1,26	3,22	2,11	3,68
2039	3,23	3,00		2,68	29,92	10,14	2,10	3,14	5,57	3,18		0,58	2,75		2,81		0,50	1,26	3,22	2,11	3,68
2040	3,23	3,01		2,69	30,09	10,20	2,10	3,18	5,58	3,20		0,59	2,76		2,81		0,50	1,27	3,22	2,11	3,68

Fuente: (Gallegos & Peñafiel, 2022)



**Tabla 5-3**

*Actividades realizadas en el año 2022 para la planta de San Pedro (Pt 2)*

Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Humedal														Mantenimiento de Acceso										Muestreo					
			Extracción de hierbas y jechuignes	Extracción de totora	Siembra de totora	Limpieza de tubos de interconexión	Extracción de natas	Disposición de residuos	Mitigación alcalina	Revisión de agua	Mantenimiento talud de tierra	Extracción de basura	Flujos preferenciales	Presencia de algas	Presencia de sólidos	Presencia de espuma	Reparación	Candado, puerta de vegetación	Acumulación de materiales	Desalojo de residuos	Siembra de plantas	Revisión de cerramiento	Instalaciones de protección	Manipulación de válvulas	Reparación	Hora recolección	Enjuague del recipiente	Envases esteriles	Llenado de envases (Muestras físico-)	Llenado de envase 3/4 (Muestras bacteriológicas)	Cerrado de envases inmediato	Etiquetado y guardado
6/1/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h37
26/1/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																														
14/2/2022	x																															
24/2/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h30
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																														
5/4/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h20
13/4/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																														
5/5/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h40
11/5/2022	x																															
13/5/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																														
9/6/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h20
22/6/2022	x																															
20/6/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																														
21/7/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>0</b>																														
5/8/2022	x																															
9/8/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h45
31/8/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																														
8/9/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h05
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																														
11/10/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h43
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																														
17/11/2022	x																															
22/11/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h40
22/11/2022	x																															
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																														
22/12/2022	x	x																								x	x	x	x	x	x	11h47
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																														

*Fuente:* Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP

**Tabla 5-4**

*Costos de operación por personal para el año 2022 de la planta de tratamiento San Pedro*

Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Datos Estadísticos de personal													Costo Operativo Personal					Costo del personal por mane					
			movil 648	movil varios	movil 640	movil 903	movil 645	chofer cuadrilla	peon	albanil	inspector	auxiliares hidrocleaner	chofer hidrocleaner	ingeniero	chofer	Pago Mensual [S]	Pago Mensual [S]	Pago Mensual [S]	Pago Mensual [S]	Pago Mensual [S]	Pago Mensual [S]	Pago por día [S]	Pago por hora [S]	Tiempo invertido por trabajador [h]	Supervisor/chofer	Trabajadores
6/1/2022	x	x	648																							
26/1/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																								
14/2/2022	x		648																							
24/2/2022	x	x	648																							
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																								
5/4/2022	x	x	648																							
13/4/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																								
5/5/2022	x	x	648																							
11/5/2022	x		648																							
13/5/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																								
9/6/2022	x	x	648																							
22/6/2022	x		648																							
20/6/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																								
21/7/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>0</b>																								
5/8/2022	x		648																							
9/8/2022	x	x	648																							
31/8/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																								
8/9/2022	x	x	648																							
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																								
11/10/2022	x	x	648																							
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																								
17/11/2022	x		648																							
22/11/2022	x	x	648																							
22/11/2022	x		648																							
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																								
22/12/2022	x	x	648																							
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																								

Fuente: Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP

**Tabla 5-5**

*Costos de operación por insumos y vehículos para el año 2022 de la planta de tratamiento San Pedro*

Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Insumos (\$)					Vehículos (\$)				Costo del personal por mantenimiento (%)			Insumos (%)	Vehículos (%)	Costo Total por mantenimiento (%)			
			Cal	Costo por caracterización [\$]	Costo por poda	Envases	lavado filtro	Guantes	648	640	903	645	Supervisor/chofer	Trabajadores				Transporte de lodos		
6/1/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
26/1/2022	x								\$ 1.36					24%	69%	0%	5%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																		
14/2/2022	x								\$ 1.36					24%	69%	0%	5%	2%	100%	
24/2/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																		
5/4/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
13/4/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>																		
5/5/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
11/5/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
13/5/2022	x								\$ 1.36					24%	69%	0%	5%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																		
9/6/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
22/6/2022	x								\$ 1.36					24%	69%	0%	5%	2%	100%	
20/6/2022	x		\$ 0.47						\$ 1.36					23%	68%	0%	6%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																		
21/7/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>0</b>																		
5/8/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
9/8/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
31/8/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																		
8/9/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																		
11/10/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																		
17/11/2022	x								\$ 1.36					24%	69%	0%	5%	2%	100%	
22/11/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
22/11/2022	x								\$ 1.36					25%	73%	0%	0%	2%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>																		
22/12/2022	x	x		\$ 229.20		0.5		0.16	\$ 1.36					5%	15%	0%	79%	0%	100%	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>																		

*Fuente: Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP*

## 5.2.2. Segunda etapa

El costo total del mantenimiento sumó los costos por personal, insumos y vehículo. Para el costo de mantenimiento mensual, se calcula el promedio de cada componente descrito anteriormente para todas las visitas realizadas y se multiplica por el número total de mantenimientos ejecutados en el mes correspondiente como se indica en la **Tabla 5-6** (Gallegos & Peñafiel, 2022).

**Tabla 5-6**

*Costos mensuralizados de mantenimiento para el año 2022 de la PTAR San Pedro*

Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Costo por Mantenimiento [S]				# Mantenimientos al Mes	TOTAL
			MES	Costo por personal [S]	Costo por Insumos [S]	Costo por vehículo[S]		
6/1/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
26/1/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.36	\$ 1.36	\$ 62.74	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>enero/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 116.61</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 351.99</b>	<b>2</b>
14/2/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.36	\$ 1.36	\$ 62.74	
24/2/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>febrero/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 116.61</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 351.99</b>	<b>2</b>
5/4/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
13/4/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
<b>Total por mes</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>abril/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 114.93</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 348.63</b>	<b>2</b>
5/5/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
11/5/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
13/5/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.36	\$ 1.36	\$ 62.74	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>mayo/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 77.74</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 411.37</b>	<b>3</b>
9/6/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
22/6/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.36	\$ 1.36	\$ 62.74	
20/6/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.83	\$ 1.36	\$ 63.22	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>junio/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 79.02</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 415.20</b>	<b>3</b>
21/7/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>julio/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 59.38</b>	<b>1</b>
5/8/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
9/8/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
31/8/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>agosto/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 76.62</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 408.01</b>	<b>3</b>
8/9/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>septiembre/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 229.86</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 289.24</b>	<b>1</b>
11/10/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>octubre/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 229.86</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 289.24</b>	<b>1</b>
17/11/2022	x			\$ 58.02	\$ 3.36	\$ 1.36	\$ 62.74	
22/11/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
22/11/2022	x			\$ 58.02	\$ -	\$ 1.36	\$ 59.38	
<b>Total por mes</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>noviembre/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 77.74</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 411.37</b>	<b>3</b>
22/12/2022	x	x		\$ 58.02	\$ 229.86	\$ 1.36	\$ 289.24	
<b>Total por mes</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>diciembre/2022</b>	<b>\$ 58.02</b>	<b>\$ 229.86</b>	<b>\$ 1.36</b>	<b>\$ 289.24</b>	<b>1</b>

*Fuente:* Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP

### 5.2.3. Etapa Final

En esta etapa se calcula el costo anual del mantenimiento, para lo cual se suman los costos generados durante todos los meses en que se han realizado mantenimientos y el número de meses en que se han realizado dichos mantenimientos. Para este cálculo es necesario obtener un factor de conversión, para el cual se divide el número total de meses en un año (12) para el número de meses en los que se han realizado al menos un mantenimiento. Luego, se multiplica este factor por la suma anual de los costos operativos como muestra la **Tabla 5-7** (Gallegos & Peñafiel, 2022).

**Tabla 5-7**

*Costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTAR San Pedro*

Fecha	PTARs	TOTAL	Month	#mant/mes	Total Cost	Cost/year
Enero/2015	S A N P E D R O		9	2	\$ 2,107.23	\$ 2,809.64
Enero/2016			9	3	\$ 3,424.36	\$ 4,565.82
Enero/2017		\$ 327.77	12	4	\$ 5,152.94	\$ 5,152.94
Enero/2018		\$ 413.76	10	2	\$ 2,614.00	\$ 3,136.80
Enero/2019		\$ 336.96	12	2	\$ 3,220.88	\$ 3,220.88
Enero/2020		\$ 554.88	11	2	\$ 3,364.66	\$ 3,670.54
Enero/2021		\$ 399.36	12	2	\$ 1,989.40	\$ 1,989.40
Enero/2022	\$ 351.99	11	2	\$ 3,625.68	\$ 3,955.29	

*Fuente:* Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP

Finalmente, con todos los costos de operación anuales calculados y los caudales definidos por Gallegos & Peñafiel (2022) se realiza el cociente entre el costo anual promediado para el caudal promedio de entrada a la planta para determinar el costo de tratamiento por metro cúbico de agua residual, la **Tabla 5-8** muestra el resultado del procedimiento.

**Tabla 5-8**

*Costos anuales de mantenimiento por m3 actualizado al 2022 de la PTAR San Pedro*

Fecha	PTARs	Discharge [l/s]		TOTAL	Month	Prom_man- mes	Total Cost	Cost/year	Cost/m3
		Influyente	Afluyente						
Enero/2015	S A N	5.43			9	2	\$ 2,107.23	\$ 2,809.64	\$ 0.52
Enero/2016		5.44			9	3	\$ 3,424.36	\$ 4,565.82	\$ 0.84
Enero/2017		5.45		\$ 327.77	12	4	\$ 5,152.94	\$ 5,152.94	\$ 0.95
Enero/2018	P E D R O	5.46		\$ 413.76	10	2	\$ 2,614.00	\$ 3,136.80	\$ 0.57
Enero/2019		5.46		\$ 336.96	12	2	\$ 3,220.88	\$ 3,220.88	\$ 0.59
Enero/2020		5.46		\$ 554.88	11	2	\$ 3,364.66	\$ 3,670.54	\$ 0.67
Enero/2021		5.46		\$ 399.36	12	2	\$ 1,989.40	\$ 1,989.40	\$ 0.36
Enero/2022		5.47		\$ 351.99	11	2	\$ 3,625.68	\$ 3,955.29	\$ 0.72

*Fuente:* Elaboración propia en base a las planillas de operación de ETAPA EP

A continuación, en la **Tabla 5-9** se resumen los resultados de costos por metro cúbico de tratamiento de cada una de las PTARs rurales, en base a la información recolectada por Gallegos & Peñafiel (2022) hay que considerar que a pesar de que algunas planificaban su cierre en años anteriores, aún siguen generando gastos de mantenimiento, como fue el caso de la planta de tratamiento Churuguzo.

En la **Gráfica 5-1** y **Gráfica 5-2** se observa la variación de los costos con el pasar de los años de todas las PTARs rurales descentralizadas, donde se puede apreciar que los mayores costos de mantenimiento se dan en la planta de Pillachiquir y los más bajos los lleva Octavio Cordero.

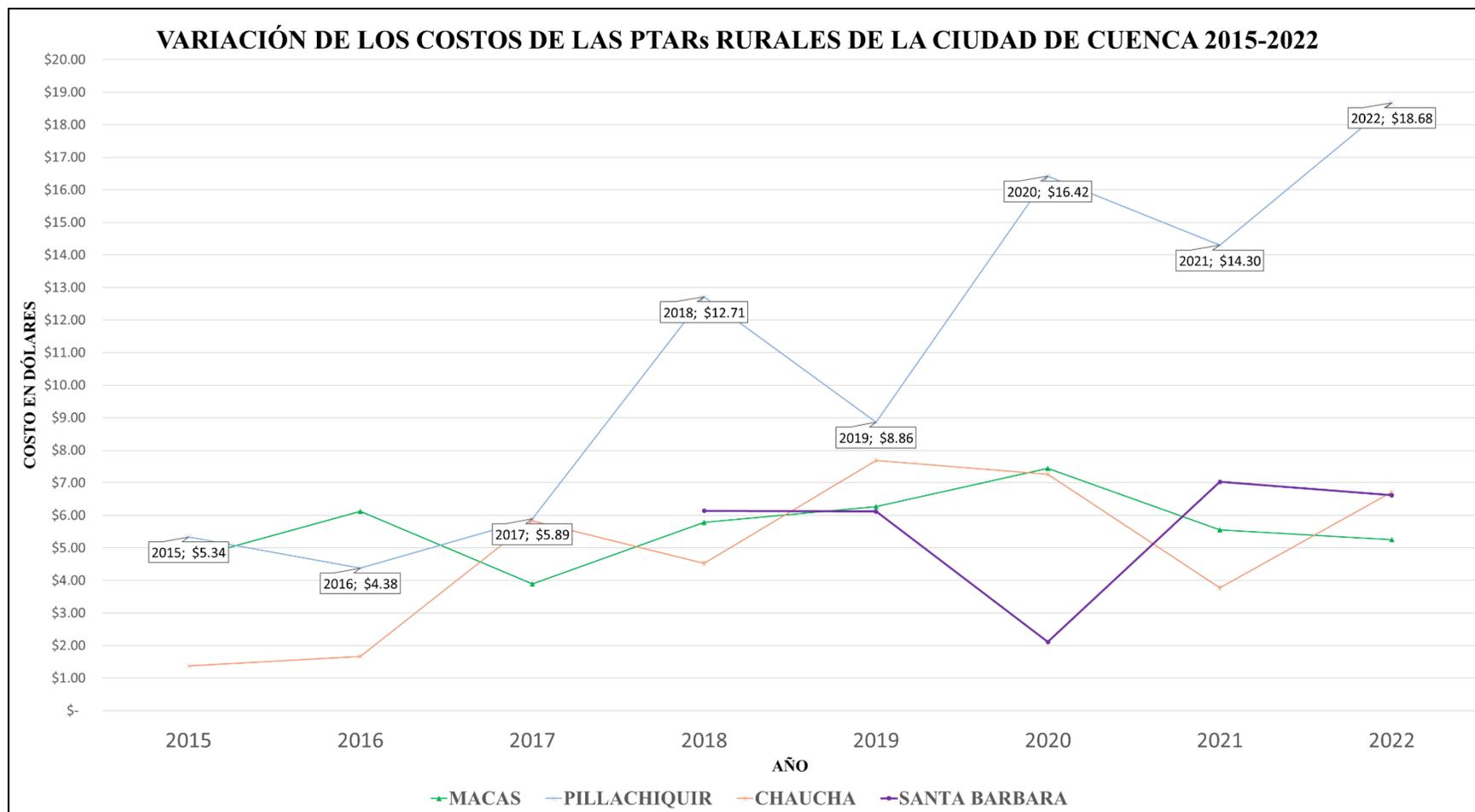
**Tabla 5-9***Costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de las PTARs rurales de Cuenca*

PTAR	Costo anual por tratamiento de metro cúbico								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
San Pedro	\$ 0.52	\$ 0.84	\$ 0.95	\$ 0.57	\$ 0.59	\$ 0.67	\$ 0.36	\$ 0.72	
Bella Unión	\$ 0.33	\$ 0.90	\$ 1.66	\$ 1.74	\$ 1.00	\$ 1.23	\$ 0.76	\$ 1.43	
Quilopungo	\$ 1.18	\$ 1.62	\$ 1.12	\$ 0.57	\$ 0.60	\$ 0.56	\$ 0.59	\$ 0.95	
Escaleras	\$ 0.85	\$ 1.45	\$ 1.45	\$ 1.11	\$ 0.67	Cerrado	Cerrado	Cerrado	
Churuguzo	\$ 0.38	\$ 0.96	\$ 0.93	\$ 0.91	\$ 0.65	Cerrado	Cerrado	Cerrado	
Tarqui	\$ 0.39	\$ 1.18	\$ 0.89	\$ 0.72	\$ 0.19	Cerrado	Cerrado	Cerrado	
Soldados	\$ 0.81	\$ 0.56	\$ 0.81	\$ 1.37	\$ 1.36	\$ 1.43	\$ 1.31	\$ 1.67	
Tutupali	\$ 0.53	\$ 0.96	\$ 2.07	\$ 2.28	\$ 1.80	\$ 1.39	\$ 1.27	\$ 1.31	
Acchayacu	\$ 0.50	\$ 0.45	\$ 1.46	\$ 1.42	\$ 1.17	\$ 0.99	\$ 1.26	\$ 1.88	
Laureles	\$ 1.43	\$ 1.42	\$ 1.97	\$ 1.30	\$ 1.32	\$ 1.32	\$ 1.15	\$ 1.66	
Cementerio	\$ 1.14	\$ 1.62	\$ 2.15	\$ 1.59	\$ 1.88	\$ 1.37	\$ 0.82	\$ 1.59	
Quingeo	\$ 1.60	\$ 2.41	\$ 2.72	\$ 2.29	\$ 2.06	\$ 2.16	\$ 1.86	\$ 1.95	
Macas	\$ 4.67	\$ 6.12	\$ 3.89	\$ 5.78	\$ 6.27	\$ 7.44	\$ 5.56	\$ 5.25	
Pillachiquir	\$ 5.34	\$ 4.38	\$ 5.89	\$ 12.71	\$ 8.86	\$ 16.42	\$ 14.30	\$ 18.68	
Chaucha	\$ 1.38	\$ 1.66	\$ 5.83	\$ 4.52	\$ 7.69	\$ 7.26	\$ 3.77	\$ 6.72	
Octavio Cordero	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.08	\$ 0.11	\$ 0.16	\$ 0.13	\$ 0.19	\$ 0.13	
Guabo	\$ 0.59	\$ 1.16	\$ 1.41	\$ 1.17	\$ 1.11	\$ 1.15	\$ 1.24	\$ 1.95	
Monjas	\$ -	\$ -	\$ 0.78	\$ 0.72	\$ 1.21	\$ 0.97	\$ 1.35	\$ 1.11	
El Chorro	\$ 0.85	\$ -	\$ 2.77	\$ 1.81	\$ 0.75	\$ 0.75	\$ 1.96	\$ 2.16	
Molleturo	\$ 0.56	\$ -	\$ 0.79	\$ 1.02	\$ 1.29	\$ 1.33	\$ 1.00	\$ 1.17	
Santa Bárbara	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 6.14	\$ 6.12	\$ 2.11	\$ 7.03	\$ 6.62	

*Fuente:* Elaboración propia

### Gráfica 5-1

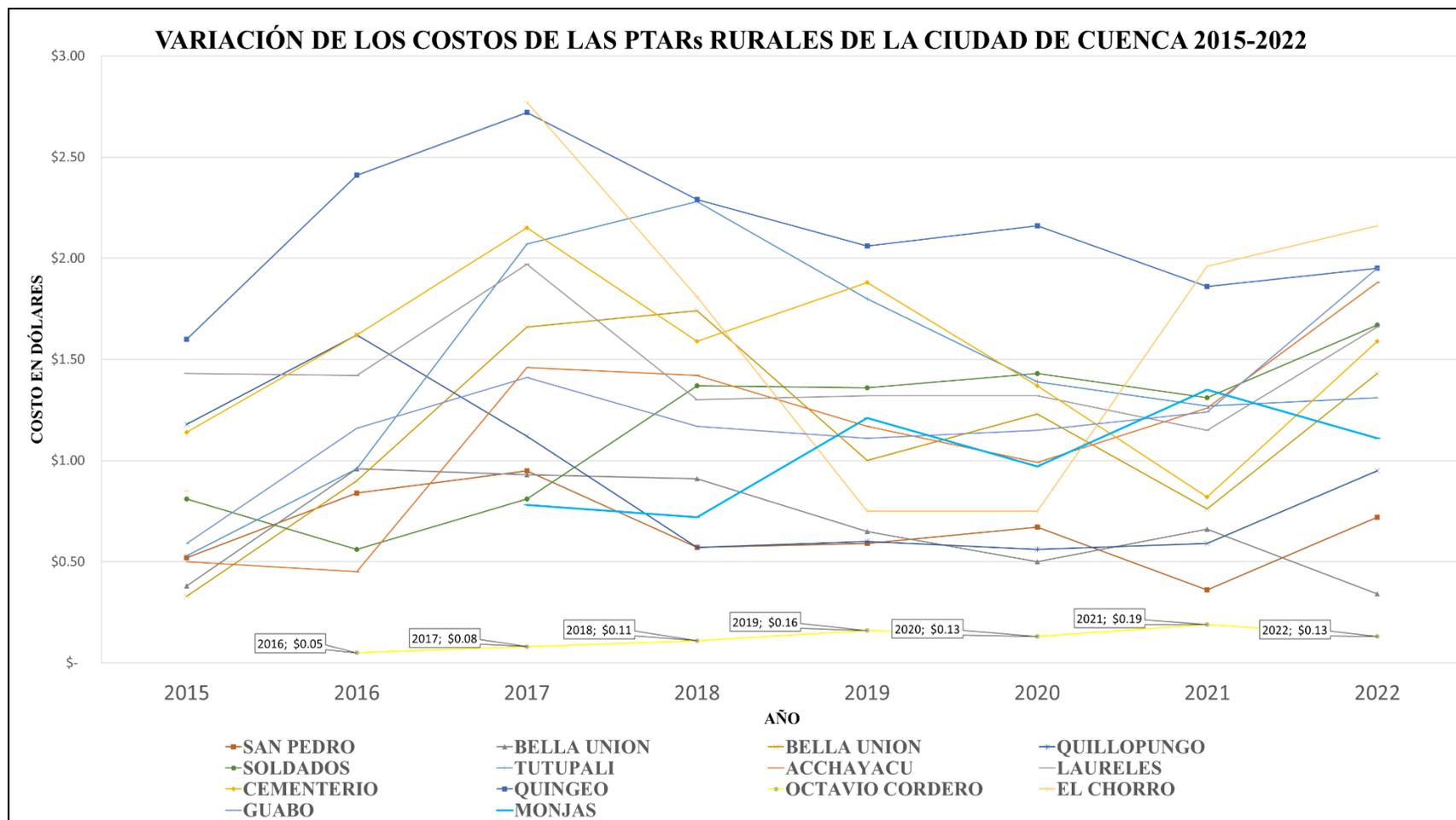
Tendencia de costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTARs rurales de Cuenca (Pt1)



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 5-2**

*Tendencia de costos anuales de mantenimiento actualizado al 2022 de la PTARs rurales de Cuenca (Pt2)*



Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Proceso de análisis

Para efectuar el proceso de análisis comparativo de los costos operativos con respecto a la eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas de Cuenca, se consideró las actividades operativas necesarias para el correcto funcionamiento de la planta y se estableció los costos asociados con dichas actividades, así como el procedimiento utilizado para calcular el costo por metro cúbico de agua tratada.

#### 5.3.1. Rendimiento de la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Se llevó a cabo una evaluación para determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en las áreas rurales del cantón Cuenca. Esto implica analizar tanto las características de las aguas residuales como la efectividad de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en términos de su rendimiento y las actividades de mantenimiento asociadas. A través de esta evaluación se buscó obtener información sobre la calidad de las aguas residuales tratadas y la eficiencia de cada PTAR en particular (Gallegos & Peñafiel, 2022).

#### 5.3.2. Eficiencias de las Plantas de aguas residuales.

Con el objetivo de determinar la eficiencia de cada característica de las plantas de tratamiento, se aplicó la Ecuación 1. A continuación, se realizó un análisis de los resultados obtenidos de acuerdo con la normativa ambiental vigente, considerando los límites establecidos para la descarga en cuerpos de agua dulce, según lo establecido en el registro oficial del Ministerio del Ambiente (MAE).

$$Eficiencia_{PTAR} = \frac{CargaContaminanteEntrada * 100}{CargaContaminanteSalida} - 100 \quad (1)$$

### 5.3.3. Cálculo de eficiencia de las PTARs rurales de la ciudad de Cuenca

Una vez obtenida la ecuación correspondiente, se procede al cálculo y evaluación de la eficiencia de cada variable. Se ha elaborado una tabla integral que incluye todas las características a evaluar y las plantas de tratamiento que serán analizadas. Los resultados de estas evaluaciones se presentan en forma de porcentaje en la **Tabla 5-10**.

**Tabla 5-10**

*Eficiencias de las PTARs rurales de Cuenca (actualizado al 2022)*

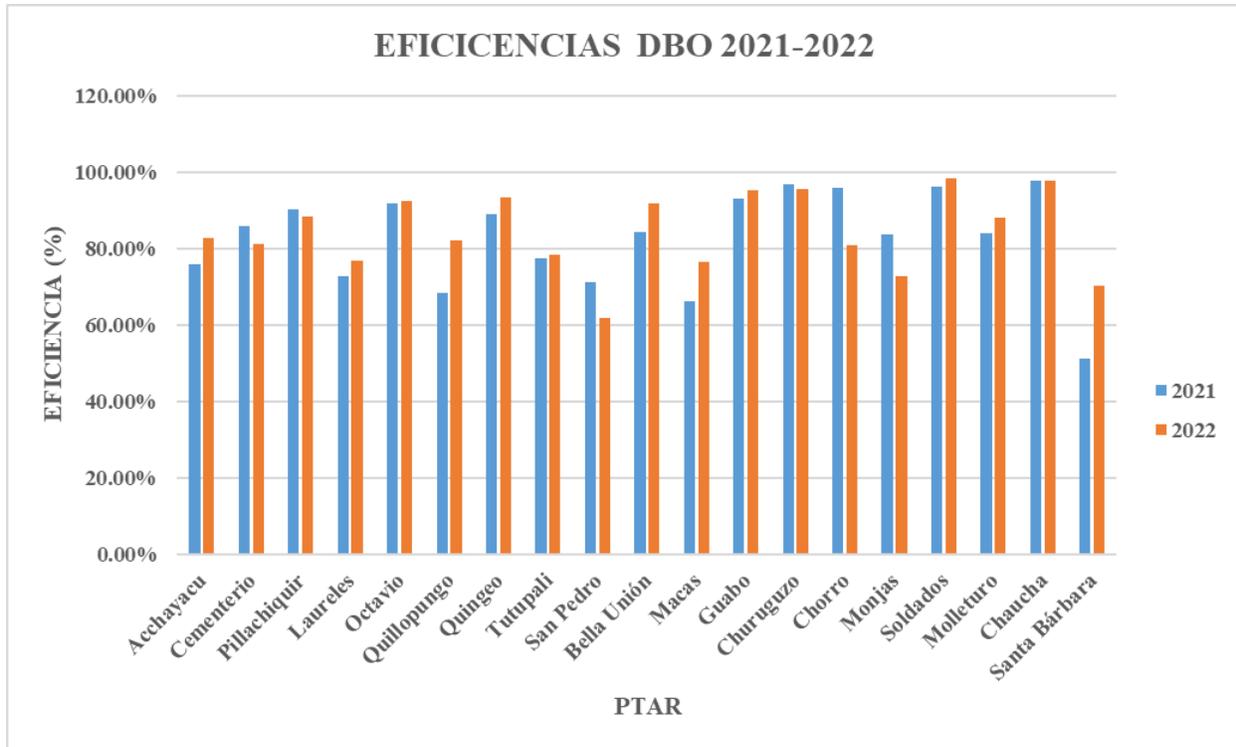
2022												
Sistema	DBO	COD	Pt	Namo	Norg	OD	SS	SST	ST	SustHexa	CT	Cter
Achayacu	83%	82%	45%	27%	57%		100%	95%	59%	69%	81%	82%
Cementerio	81%	74%	55%	42%	71%	15%	100%	93%	64%	80%	82%	81%
Pillachiquir	88%	82%	57%	59%	66%		84%	82%	59%	60%	88%	85%
Laureles	77%	78%	53%	21%	72%	21%	100%	93%	59%	83%	56%	59%
Octavio	93%	87%	73%	53%	81%	3%	100%	91%	68%	84%	95%	96%
Quilopungo	82%	84%	66%	31%	74%	38%	98%	89%	74%	85%	88%	81%
Quingeo	93%	92%	67%	41%	86%	17%	99%	98%	81%	79%	90%	89%
Tutupali	78%	78%	46%	35%	75%	18%	98%	95%	75%	87%	83%	77%
San Pedro	62%	61%	26%	14%	43%	13%	100%	74%	37%	56%	57%	66%
Bella Unión	92%	91%	60%	27%	88%		100%	99%	80%	90%	79%	85%
Macas	76%	58%	30%	21%	52%	11%	100%	73%	29%	72%	63%	61%
Guabo	95%	97%	64%	37%	84%	9%	100%	99%	86%	55%	82%	78%
Churuguzo	95%	89%	56%	48%	53%	4%	100%	99%	72%	85%	95%	98%
Chorro	81%	73%	46%	32%	87%	11%	100%	88%	42%	65%	82%	83%
monjas	73%	58%	36%	33%	50%	9%	100%	75%	43%	53%	87%	93%
soldados	98%	95%	78%	46%	87%		100%	93%	97%	94%	90%	88%
molleturo	88%	90%	56%	33%	65%		99%	84%	77%	75%	80%	100%
chaucha	98%	97%	68%	34%	91%		98%	99%	97%	91%	86%	85%
Santa Bárbara	70%	48%	53%	29%	59%	9%	100%	75%	31%	76%	80%	78%

*Fuente:* (ETAPA EP, 2022)

Los resultados de la **Gráfica 5-3** muestran los porcentajes de eficiencia de las diferentes características en el tratamiento de aguas residuales, comparando desde la última actualización 2021 hasta el año actual 2022. Se comienza analizando la eficiencia en términos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

### Gráfica 5-3

Eficiencia de DBO comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca.



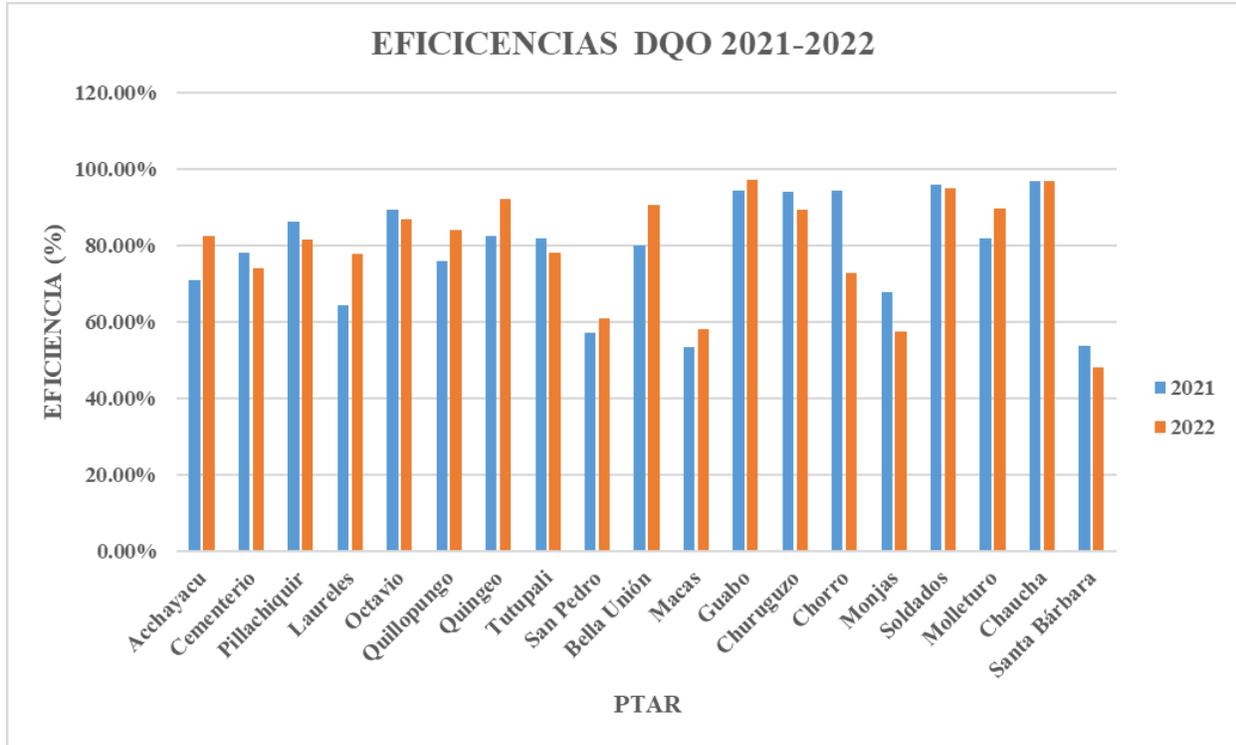
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar la eficiencia del DBO para cada una de las plantas de tratamiento, tal es el caso de que 13 de las 19 PTARs han mejorado o mantenido su nivel de operación, es decir que cerca del 70% muestran mejores condiciones de eficiencia. Se propone analizar los problemas de funcionamiento en las plantas de: Cementerio, San Pedro, El Chorro y Mojas que disminuyeron considerablemente sus eficiencias.

Por otro lado, la relación de eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno de las PTARs se presenta en la **Gráfica 5-4**.

### Gráfica 5-4

Eficiencia de DQO comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca



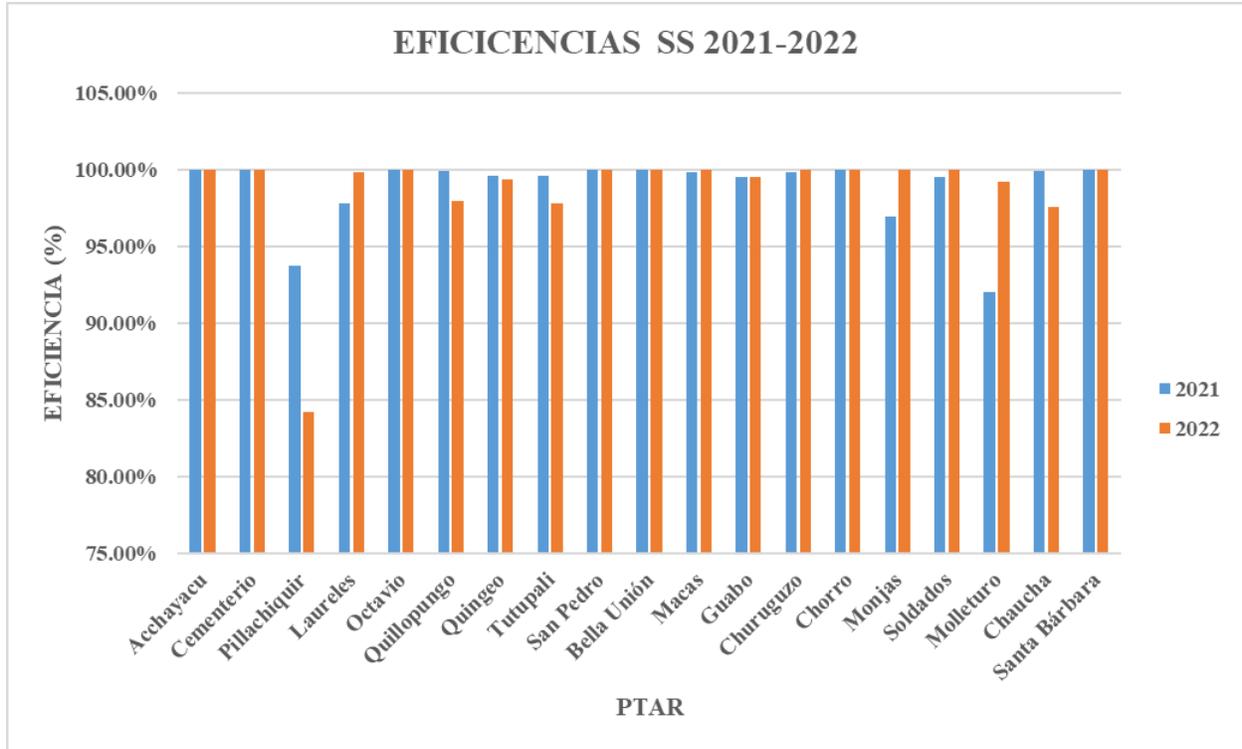
Fuente: Elaboración propia

Se observa solamente que el 52% de las plantas rurales han mejorado su eficiencia en el tratamiento a partir de la medición de DQO, cabe mencionar que esto puede ser relativo en ciertos casos, debido a que el agua que entra al sistema pudo haber ingresado con una menor carga contaminante.

Otro aspecto que se analizó son los sólidos sedimentables (SS) debido a que es una característica muy importante para tratar las aguas servidas ya que afectan a la calidad y turbidez del agua, por eso en la **Gráfica 5-5** se presenta el manejo de cada planta respecto a este parámetro.

### Gráfica 5-5

Eficiencia de SS comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca



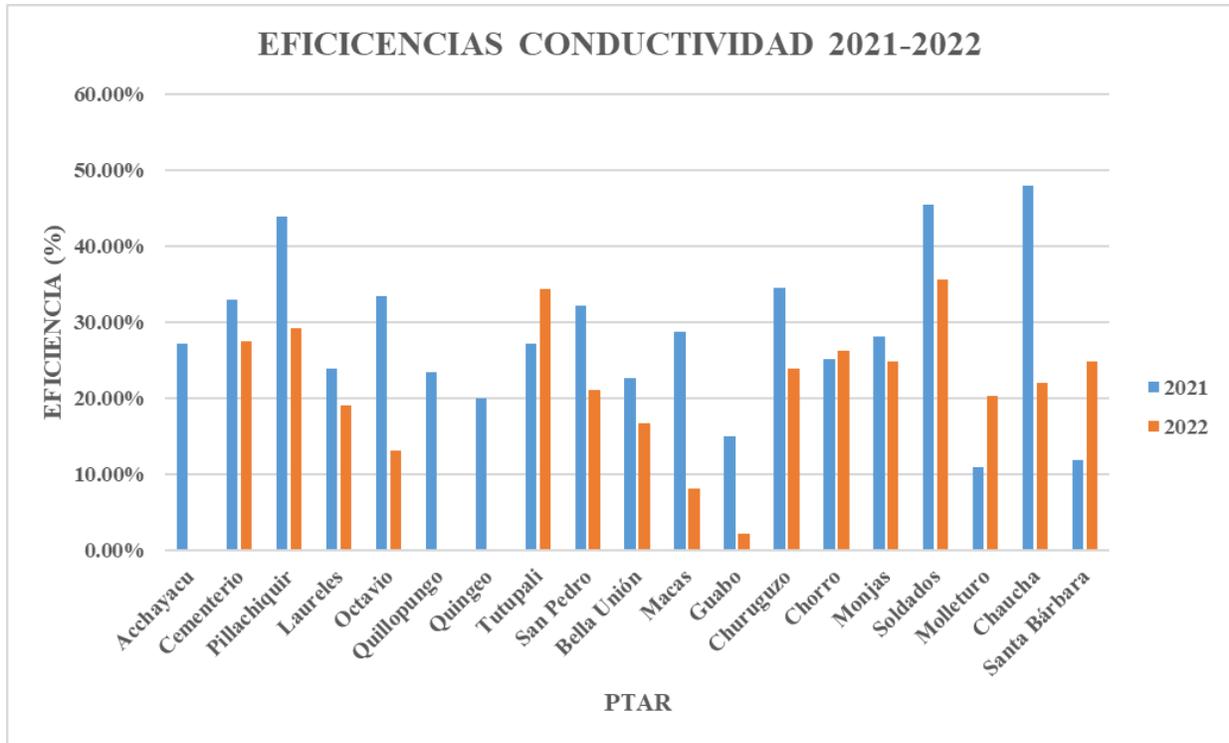
Fuente: Elaboración propia

Para el año 2022 casi todas las PTARs han logrado mantener su eficiencia en más del 95% a excepción de la planta Pillachiquir que a comparación del año 2021 ha disminuido hacia el 84%, lo que indica que hay que analizar el funcionamiento de las estructuras del sistema.

La cantidad de sales o minerales conductores que contenga el agua es un indicativo de su pureza, es decir una menor conductividad indica un agua menos contaminada, la **Gráfica 5-6** resume la comparativa del año 2021 al año 2022 en cuanto a mejora de este parámetro.

## Gráfica 5-6

*Eficiencia de conductividad comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca*



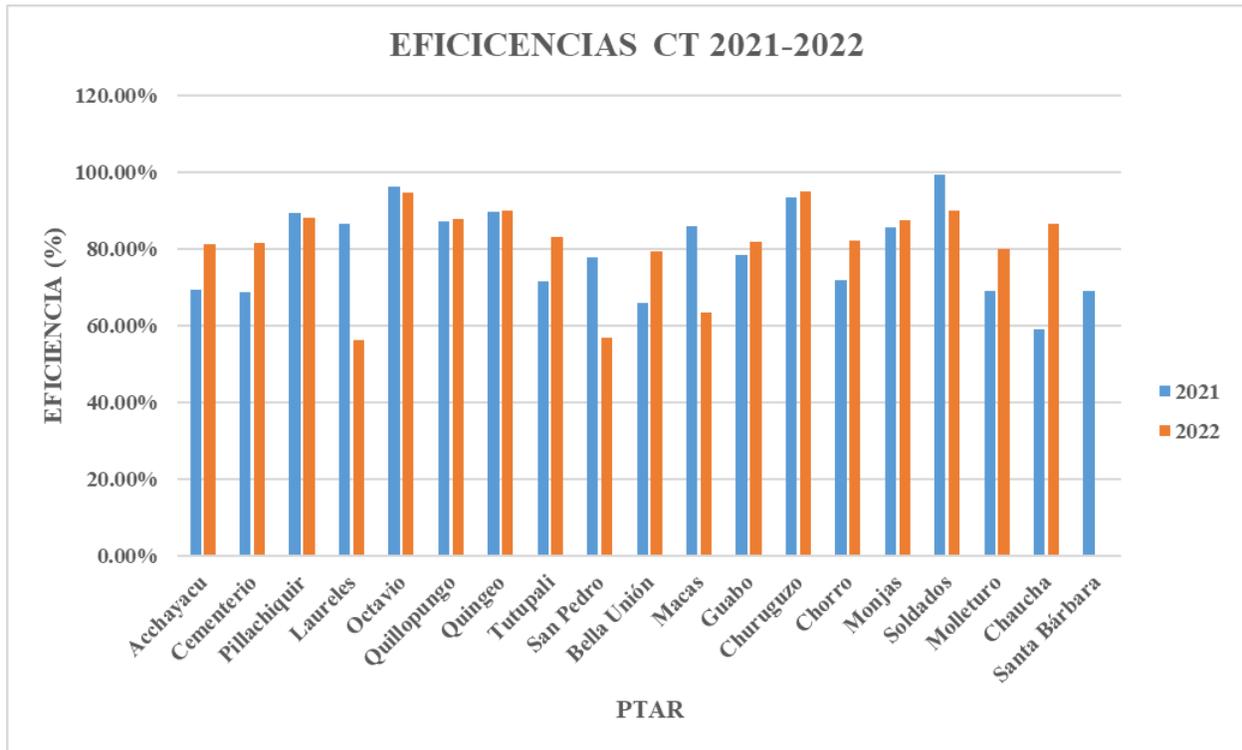
*Fuente:* Elaboración propia

Se observa una disminución considerable en la eficiencia de conductividad para 11 de las 19 PTARs, mostrando únicamente una mejora en las plantas de Tutupali, El Chorro, Molleturo y Santa Bárbara, también se identificó una ausencia de datos o toma de muestras en las plantas de Acchayacu, Quillopungo y Quingeo lo que implica que no se está llevando un control adecuado de los minerales presentes en el agua al salir de la planta, esto debido a actividades de mantenimiento que se llevaron a cabo en estas PTARs según registros que brindó personal de ETAPA EP.

Los porcentajes en manejo de las Coliformes Totales se muestran en la **Gráfica 5-7**:

### Gráfica 5-7

*Eficiencia de Coliformes Totales comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca*



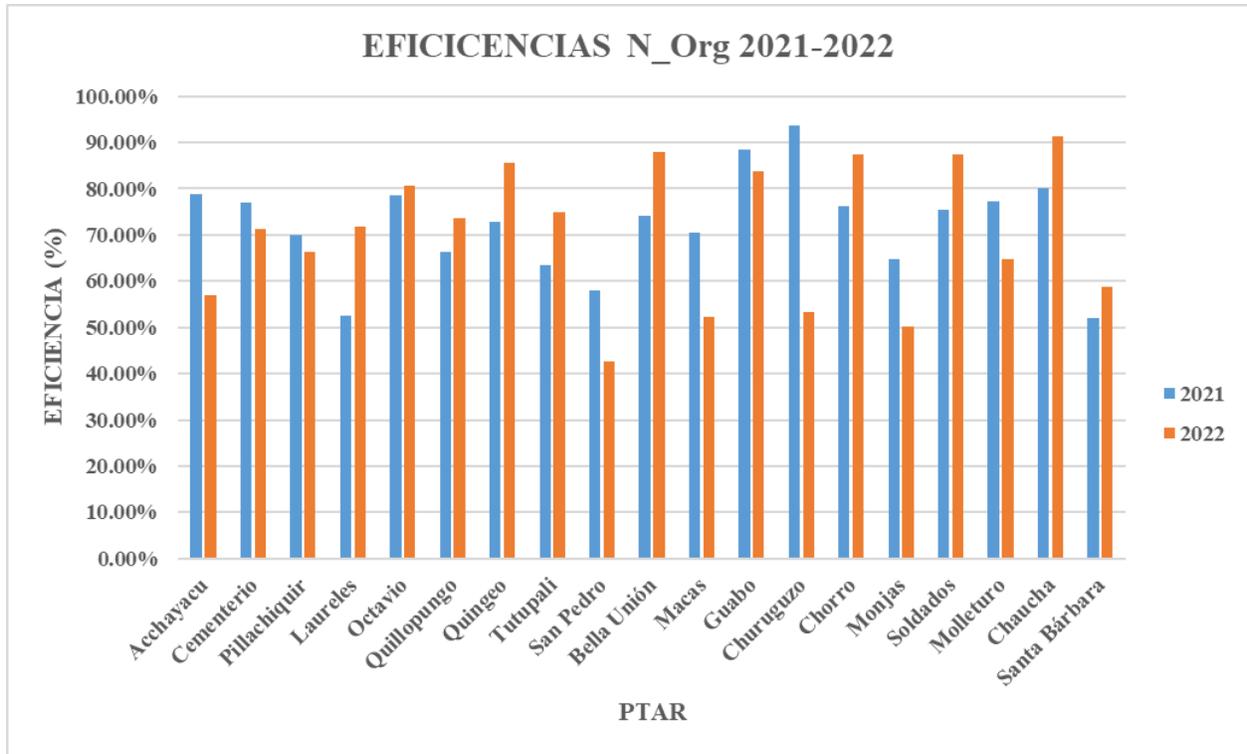
*Fuente:* Elaboración propia

En una primera instancia se denota una considerable mejora en la planta de Acchayacu con un aumento del 12% en el parámetro CT con respecto al año anterior, el mismo caso presentan Chaucha, Molleturo, El Chorro, Bella Unión, Tutupali y Cementerio. Laureles junto con San Pedro han disminuido sus eficiencias.

El nitrógeno orgánico al ser un contaminante muy perjudicial para la vida acuática debe procurar eliminarse de manera eficiente, en la **Gráfica 5-8** se presentan los resultados alcanzados.

### Gráfica 5-8

*Eficiencia Nitrógeno Orgánico comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca*



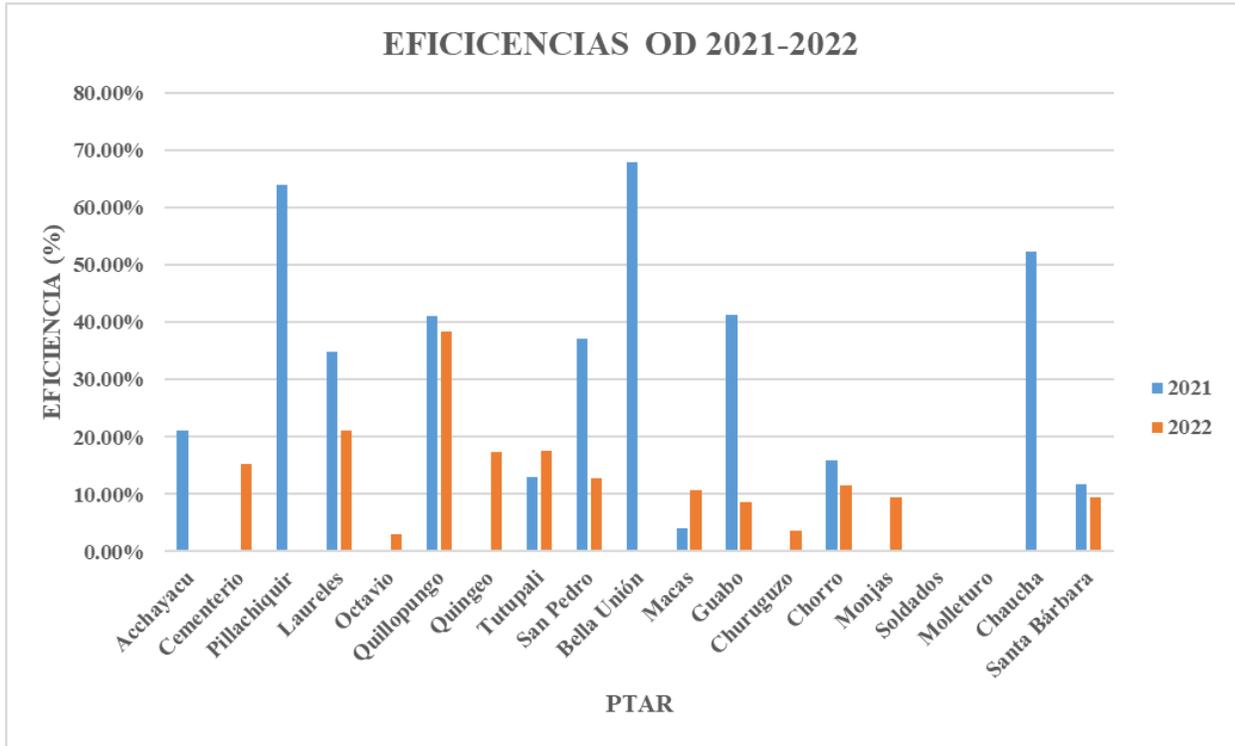
*Fuente:* Elaboración propia

En el diagrama de barras se aprecia que para el año 2022 San Pedro es la EDAR con menor eficiencia en la eliminación de esta propiedad. Aunque podría mantener el rendimiento del año anterior revisando las acciones que se han cambiado hasta la fecha.

El último parámetro de análisis es el Oxígeno Disuelto que se presenta en la **Gráfica 5-9**:

### Gráfica 5-9

*Eficiencia Oxígeno Disuelto comparable 2021-2022 de las PTARs rurales de Cuenca*



*Fuente:* Elaboración propia

A primera vista, se puede notar un ausentismo de datos que permitan comparar de manera adecuada los cambios en las eficiencias de las EDARs, se aprecia también que para el 2022 Octavio Cordero es el sistema con menor eficacia con respecto a sus equivalentes.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Análisis comparativos de PTARs entre el periodo 2021-2022 con intervenciones

Con base a la información recopilada de ETAPA EP se tienen registros de intervenciones o mejoras en diferentes PTARs rurales, las mismas se han realizado entre el año 2021 al 2022; es por ello que se realizó un análisis más riguroso como punto de partida para determinar la efectividad de cada planta.

En el año 2021 se realizaron cambios en la planta de Acchayacu, manteniendo la fosa séptica pero cambiando el filtro anaerobio por un humedal vertical y mostró una mejora significativa en la eficiencia con respecto a las características a ser consideradas en el tratamiento de aguas residuales, a excepción del nitrógeno orgánico que ha disminuido en un 21% como se observa en la **Gráfica 5-8**, esto puede deberse a la disminución de la temperatura por las condiciones climáticas invernales del año 2022 ya que la nitrificación requiere de temperaturas entre 25° a 30° C (López et al., 2017), mientras que en Cuenca la media fue de 16°C. No obstante, el costo de operación ha aumentado en 60 centavos en el 2022 por cada metro cúbico de agua tratada que representa el 50% del costo promedio del año anterior.

En El Chorro se renovó la grava del filtro anaerobio, lo que contribuyó a una gestión más eficiente de los coliformes totales, sin embargo, algunas características como la DBO, DQO y OD disminuyeron sus eficiencias, esto puede deberse a varias razones, una de ellas es que la grava necesita un periodo de tiempo que puede llevar entre seis a nueve meses para que la proliferación de los microorganismos (biopelícula activa) la colonicen y llegar al punto óptimo del tratamiento (Tilley et al., 2018). El alza de costos de operación y mantenimiento del 10% que muestra esta planta no es tan elevada como el caso de Acchayacu.

En Cementerio se ejecutó también un cambio del filtro anaerobio mostrando un comportamiento similar al descrito con la planta de El Chorro con la baja en eficiencias de DBO y DQO, por lo que se sugiere controlar si las eficiencias mejoran con el pasar de los meses de este año.

En la planta del Guabo se reemplazó el filtro anaerobio, y se aprecia que hay una mejora moderada en las eficiencias en referencia al DQO, DBO y Coliformes Totales, pero hay una disminución considerable del 15% y 30% de las eficiencias en conductividad y el oxígeno disuelto respectivamente.

El cambio del filtro anaerobio de Laureles optimizó la eficiencia de la DBO y DQO, pero muestra una disminución significativa en la remoción de las coliformes totales esto también puede deberse a la formación de la biopelícula que puede aún no haber llegado a su punto activo y efectivo.

## **6.2.Comparación entre las eficiencias con los costos de las PTARs rurales de Cuenca**

Durante el periodo comprendido entre 2021 y 2022, se observaron aumentos significativos en los costos de operación de varias plantas. Entre ellas, destacan San Pedro, con un incremento del 100%, seguido de Cementerio con un 93% y Bella Unión con el 88%. Asimismo, se registraron aumentos en: Chaucha (78%), Quillopungo (61%), Guabo (57%), Acchayacu (49%) y Laureles (44%). Por otro lado, Pillachiquir experimentó un aumento del 30%, Soldados del 27%, mientras que Molleturo mostró un crecimiento de costos del 17% y El Chorro del 10%. Las plantas de Quingeo y Tutupali también experimentaron incrementos, aunque en menor medida, con un 4% y 3%, respectivamente. Estos datos revelan un panorama de incremento generalizado en los costos de estas plantas durante dicho periodo.

Por otra parte, también se observaron reducciones significativas en los costos de operación de diversas plantas. La PTAR de Churuguzo experimentó una reducción del 48%, seguida de cerca por la planta de Octavio Cordero con un descenso del 32%. De igual forma, las plantas de Monjas y Santa Bárbara registraron reducciones del 19% y 6%, respectivamente. Por último, aunque en un margen más reducido, la planta de Macas mostró una disminución del 5% en sus costos. Estos datos reflejan una reducción en solamente cinco de las diecinueve plantas analizadas.

Se efectuó la comparación de las eficiencias de remoción de todos los parámetros de caracterización versus los costos de las 19 PTARs rurales que están en funcionamiento actualmente, la **Gráfica 6-1** muestra la comparación para aquellas plantas que tuvieron cambios en sus sistemas entre el periodo 2021-2022 con respecto al parámetro DBO.

## Gráfica 6-1

Eficiencia VS Costos DBO comparable 2015-2022 de las PTARs rurales con intervenciones en el periodo 2021-2022



Fuente: Elaboración propia

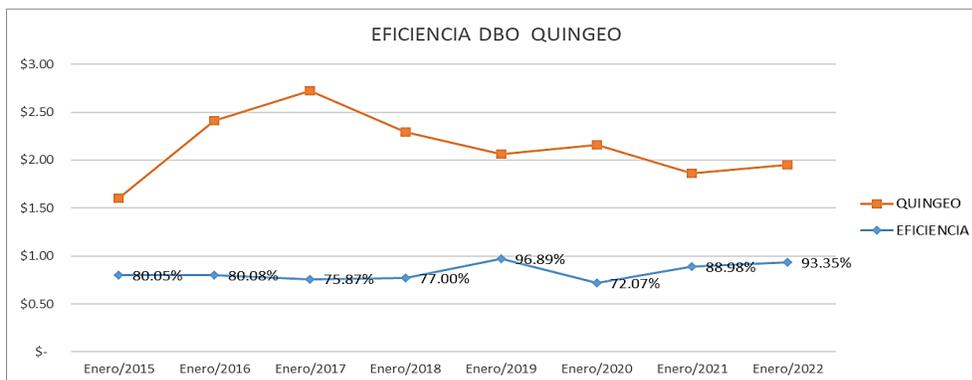
Como ejemplo para mostrar la relación de resultados se compararon gráficas de la Eficiencia vs Costos de la PTAR de Quingeo debido a que ha presentado las mejores relaciones Costo-Eficiencia con respecto al año anterior, es decir que solo aumentó sus costos en un 4% siendo la que más crecimiento en eficiencias ha tenido para los parámetros de caracterización o evaluación más relevantes que son la DBO, DQO, conductividad, sólidos suspendidos, coliformes totales, nitrógeno orgánico y oxígeno disuelto.

### 6.2.1. Eficiencias DBO vs costos operativos.

En la **Gráfica 6-2** se aprecia que los valores de eficiencia de la estación Quingeo ha ido mejorando considerablemente con el paso de los años, sin ser el 2022 una excepción, las mejoras han sido significativas; si se parte del año 2015 donde la eficiencia de su DBO era solamente el 80.05%, actualmente el 93.35% que ha conseguido, se refleja en un buen manejo de la planta tanto que han aumentado sus costos en solo nueve centavos por cada metro cúbico.

#### Gráfica 6-2

*Eficiencia VS Costos DBO comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo.*



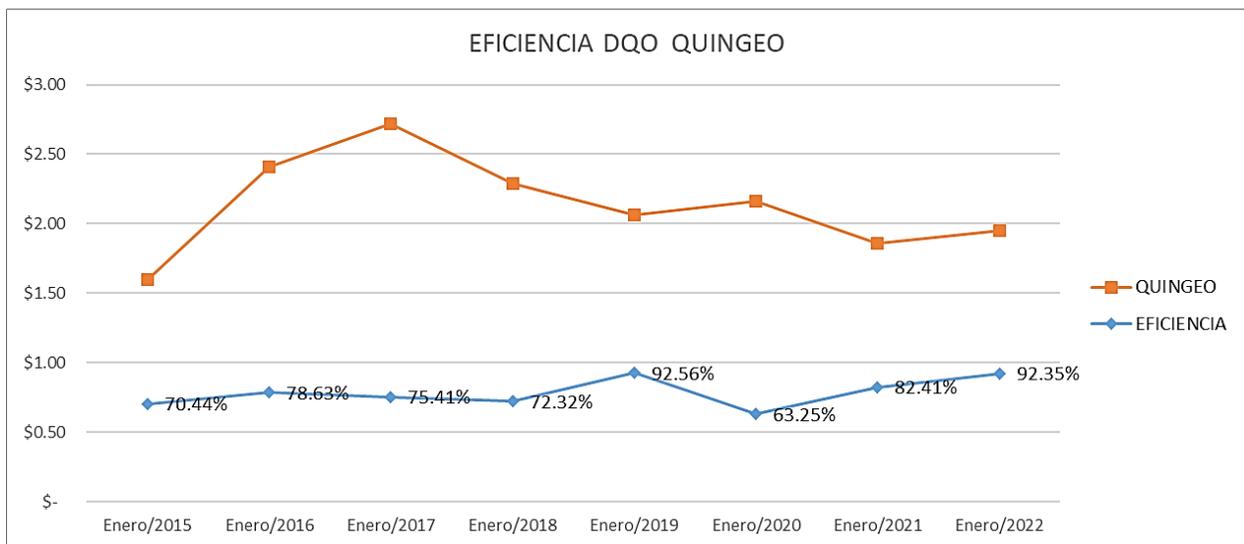
*Fuente:* Elaboración propia.

### 6.2.2. Eficiencias DQO vs costos operativos.

Se presenta en la **Gráfica 6-3** el porcentaje de mejoramiento de las eficiencias a partir del año 2015 es claro que ha aumentado la eficiencia en casi un 10% desde el año 2021 al año 2022, esto es sumamente alentador si se contrasta con el aumento mínimo del costo que se mencionó anteriormente.

#### Gráfica 6-3

*Eficiencia VS Costos DQO comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo*



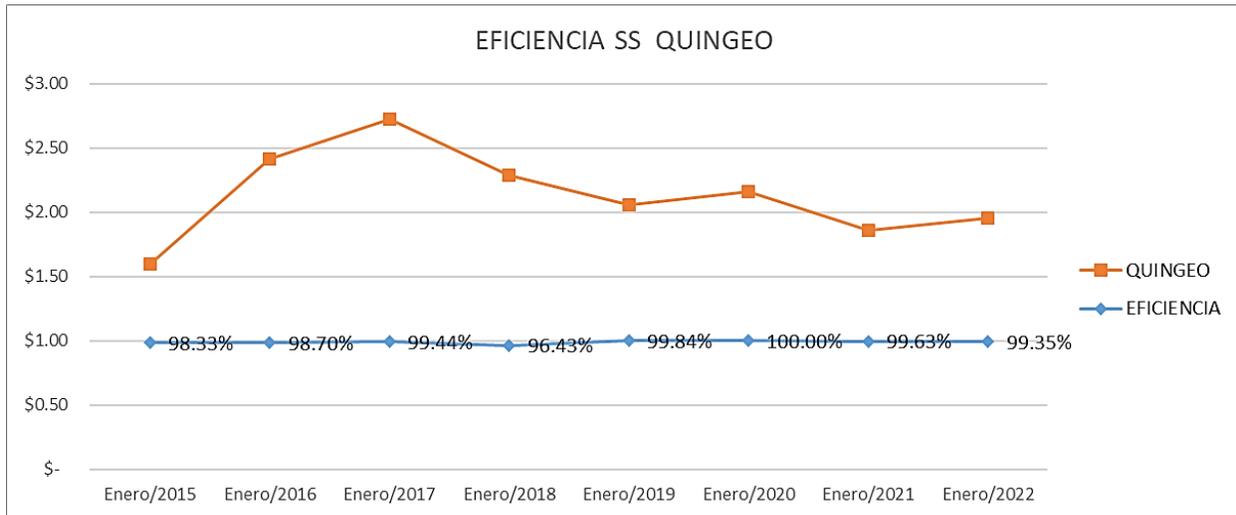
*Fuente:* Elaboración propia.

### 6.2.3. Eficiencias SS vs costos operativos.

Se aprecia en la **Gráfica 6-4** que la eficiencia correspondiente a la remoción de sólidos suspendidos se ha mantenido aceptables desde el año 2019, ha existido una mínima reducción del 0,28 % en la eficiencia hacia el año 2022.

### Gráfica 6-4

*Eficiencia VS Costos SS comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo*



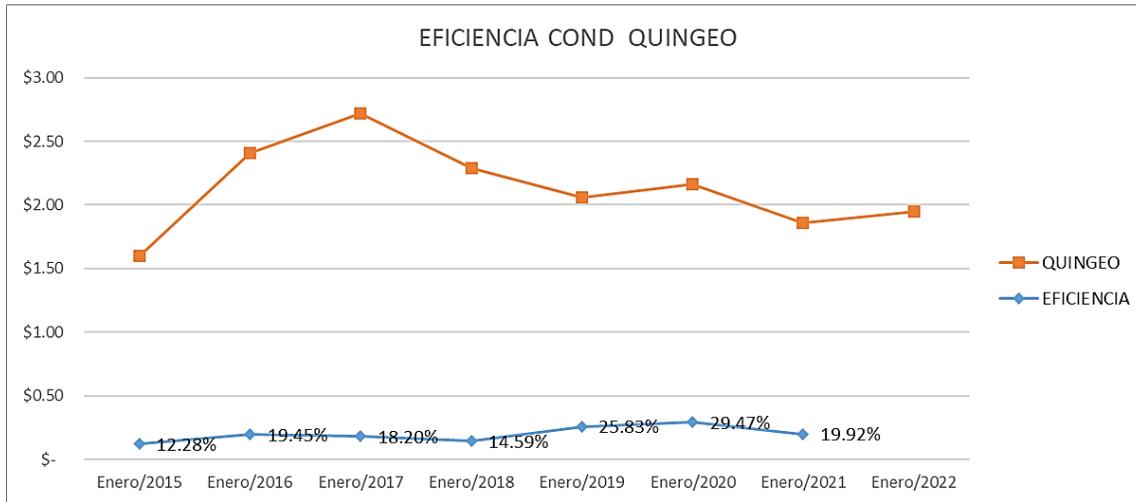
*Fuente:* Elaboración propia.

#### 6.2.4. Eficiencias COND vs costos operativos.

Con referencia a la **Gráfica 6-5** de la conductividad se muestra una ausencia de datos en la línea de eficiencias para el año 2022 demostrando que es necesario una planificación en cuanto a los análisis que deben realizarse en las muestras recolectadas para no perder ningún registro anual.

### Gráfica 6-5

*Eficiencia VS Costos Conductividad comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo.*



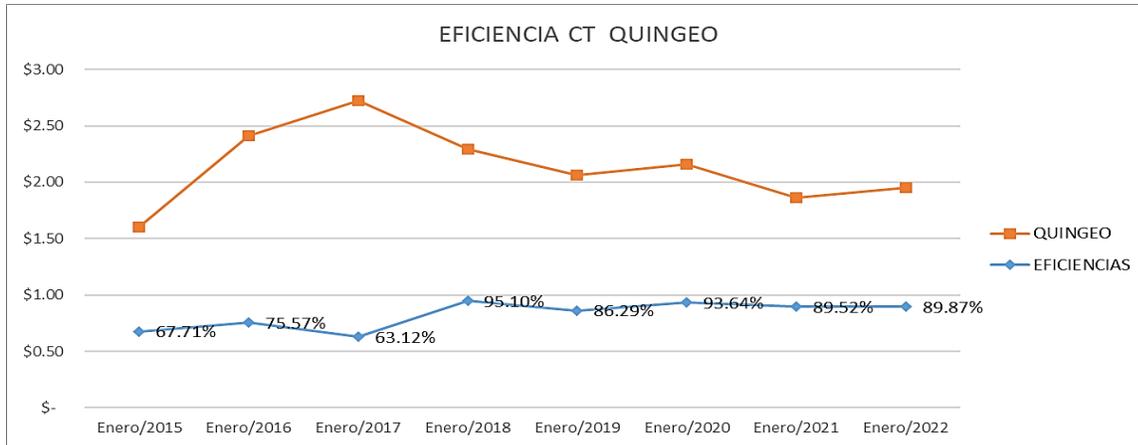
*Fuente:* Elaboración propia.

#### 6.2.5. Eficiencias CT vs costos operativos.

En la **Gráfica 6-6** se puede apreciar que la eficiencia en la remoción de Coliformes Totales ha aumentado en un 0,35 %, lo que era de esperarse con referencia a las eficiencias de las características anteriormente mencionadas.

## Gráfica 6-6

*Eficiencia VS Costos Coliformes Totales comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo*



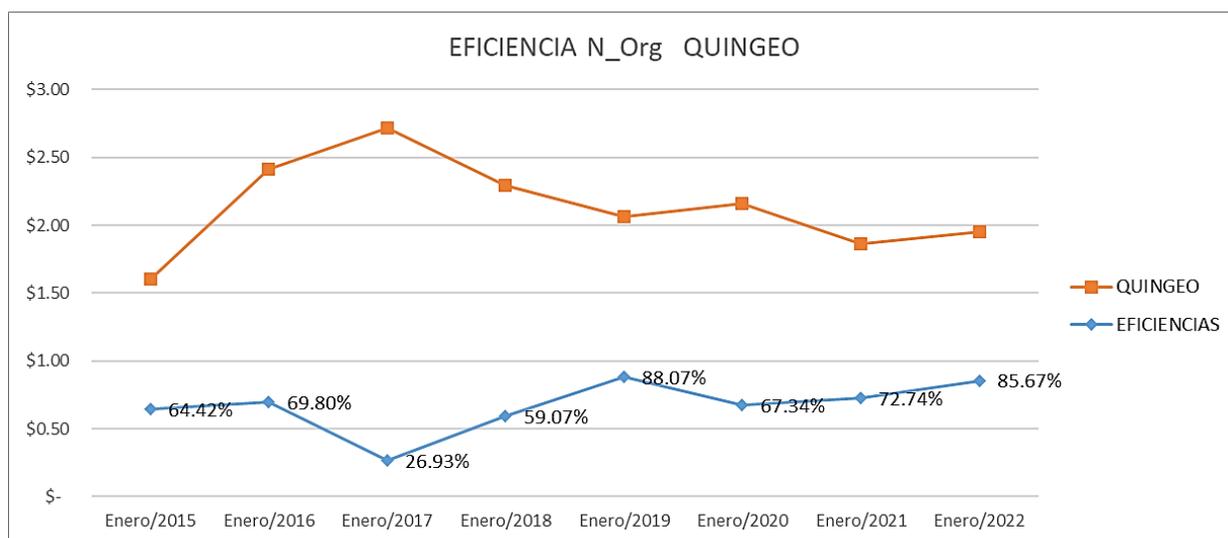
*Fuente:* Elaboración propia.

### 6.2.6. Eficiencias Nitrógeno Orgánico vs costos operativos.

En el análisis del nitrógeno orgánico de la **Gráfica 6-7**, se ha notado líneas ascendentes del costo con la eficiencia, lo que presenta un panorama conveniente si se toma en cuenta que el costo aumenta solo en 4% y la eficiencia del Nitrógeno Orgánico sube en un 12.93% lo que quiere decir que las medidas implementadas por la administración de la planta están brindando excelentes resultados con los que se puede corregir las falencias que muestran otras PTARs.

## Gráfica 6-7

*Eficiencia VS Costos Nitrógeno Orgánico comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo.*



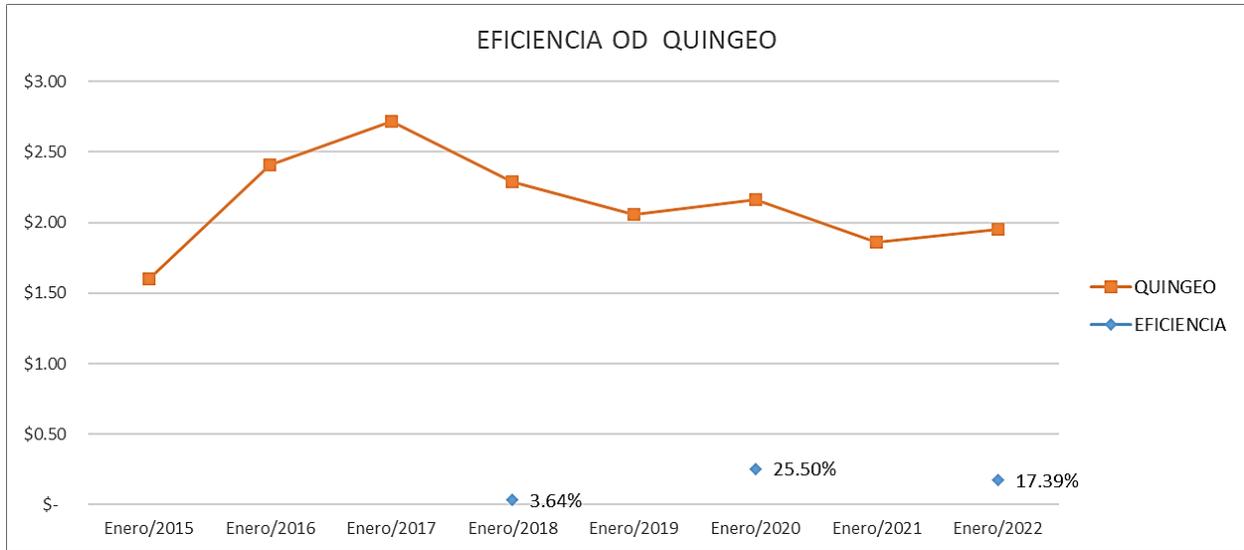
*Fuente:* Elaboración propia.

### 6.2.7. Eficiencias OD vs costos operativos.

La interpretación de la **Gráfica 6-8** del oxígeno disuelto resulta un tanto difícil de realizarse por la falta de datos, sin embargo, con una serie de datos tomados del año 2022 se interpretó un intento en mejorar el inconveniente de la falencia de información que ocurrió en el año 2021, se podría mejorar la característica de OD con las metodologías aplicadas en el 2020 en el que se consiguió una eficiencia del 25.50 %.

### Gráfica 6-8

*Eficiencia VS Costos Oxígeno Disuelto comparable 2015-2022 de la PTAR Quingeo*



*Fuente:* Elaboración propia.

Como bien se acaba de presentar el análisis de la planta de Quingeo que muestra un aumento poco considerable de costos y un incremento representativo de eficiencia con respecto a las otras PTARs, también hay que tomar en cuenta el hecho de que existen otras plantas que tuvieron reducción en sus costos, pero que también disminuyeron sus eficiencias. Si se desea complementar la información descrita en estos resultados se puede revisar el análisis general en base a gráficas de todas las PTARs en la sección **Anexos**.

## 7. CRONOGRAMA

**Tabla 7-1**

*Cronograma de actividades a realizarse*

Actividad	Tiempo															
	Abril - Mes 1				Mayo - Mes 2				Junio - Mes 3				Julio - Mes 4			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Objetivo específico 1	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h				
Objetivo específico 2					6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	
Objetivo específico 3									6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h	6 h
Revisión y correcciones informe de investigación				8 h	2 h			8 h	2 h			8 h	2 h			6 h
Adaptación formato artículo científico /																
Informe final													6 h	6 h	6 h	6 h
	horas Mes 1: 32 h				horas Mes 2: 52 h				horas Mes 3: 82 h				horas Mes 4: 74 h			
	Horas totales 240 h															

Fuente: Elaboración propia.

## 8. PRESUPUESTO

**Tabla 8-1**

*Presupuesto requerido para la investigación*

Componentes	Grupo de gasto	Fuente Financiamiento	Cantidad	gasto diario	Sueldo (mensual)	N° meses	costo Total
Ingeniero Especialista	Gasto Fijo	Autogestión	1	\$ -	\$ 1,800.00	4	\$ 7,200.00
Ingeniero civil	Gasto Fijo	Autogestión	1	\$ -	\$ 789.00	4	\$ 3,156.00
Transporte	Gasto variable	Autogestión	1	\$18.18	\$ -	4	\$ 72.72
Subtotal							\$ 10,428.72
Indirectos				20%			\$ 2,085.74
IVA				12%			\$ 1,251.45
TOTAL							\$ 13,765.91

Fuente: Elaboración propia.

## 9. CONCLUSIONES

El proyecto de actualización de costos y eficiencias para las PTARs rurales de la ciudad de Cuenca, se centró principalmente en comparar la última actualización del 2021 realizada por Gallegos & Peñafiel (2022) con el último registro. Los costos se determinaron con la información otorgada por la Empresa Pública Municipal De Telecomunicaciones Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento De Cuenca (ETAPA EP). A partir de estos datos y las hojas de ensayos de calidad de agua se analizaron las ponderaciones anuales de costos de mantenimiento y eficiencias de las Estaciones de tratamiento definiendo lo siguiente:

Se aprecia un incremento en los costos operativos definidos en la mayoría de las plantas de depuración diferente a lo esperado en la última actualización mencionada anteriormente, esto puede deberse a los días de registro en los que no se evidencia un mantenimiento de ninguna de las estructuras, pero si una movilización de personal.

Por otro lado, las eficiencias si mostraron una mejora en 13 de las 19 plantas que se analizaron, esto muestra la importancia de mejorar la cantidad de inscripciones de datos de los ensayos de calidad de muestras para las diferentes características que permitan correcciones oportunas. También se determinó para estas plantas un costo más encarecido.

Los costos por caracterización o análisis de muestras están establecidos por ETAPA EP con un valor de USD 229.2 dólares americanos, los cuales representan el alza en los costos de mantenimiento en la mayoría de las PTARs rurales, ya que en el año 2022 aumentaron el número de muestreos en un casi 50% con respecto al año 2021. Este proceder puede beneficiar de manera directa a las plantas para tratamientos oportunos, siempre y cuando se hagan con planificación.

Al comparar los costos obtenidos en este trabajo con los costos proyectados al año 2022 por Gallegos & Peñafiel (2022), se evidenció que las PTARs de San Pedro, Bella Unión, Quillopungo, Acchayacu, Laureles, Cementerio, Pillachiquir, Guabo, El Chorro y Santa Bárbara superaron los costos calculados por estos autores, mientras que Tutupali, Quingueo, Macas, Chaucha, Octavio Cordero, Monjas y Molleturo presentaron valores inferiores a los esperados y solamente la planta de Soldados mantuvo las proyecciones esperadas. Lo que indicó que no se podrán proyectar costos de manera confiable a largo plazo debido a la falta de una planificación en las actividades y muestreos que realizarán en las PTARs.

Se definió que Quingeo tiene las mejores eficiencias relativamente con los costos de operación, por lo que se puede definir que un sistema simple de fosa séptica más filtro anaerobio, puede llegar a ser suficiente para un tratamiento adecuado tomando en cuenta que esta planta mejoró en cinco de las siete características analizadas para aguas residuales.

A partir de la información brindada por **ETAPA EP** se pudo contrastar lo siguiente:

Se atribuyó la disminución de eficiencias de algunos parámetros de la planta de San Pedro directamente a la falta de una vía de acceso que permita realizar obras de mitigación para problemas actuales que presenta este sistema, ya que actualmente no se puede ingresar a la planta con vehículos ni transportar equipos a su ubicación.

Además, se relacionó la reducción de eficiencia en algunos parámetros de la planta de Achayacu directamente con las obras de construcción que se realizaban como se mencionó anteriormente; de igual manera en Quillopungo se estaban ejecutando trabajos de mantenimiento, lo que ocasionó una ausencia de datos de Conductividad y la disminución de eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. También se puede interpretar que la ausencia de datos de OD en gran parte de las PTARs se debe a la falta de producto en el laboratorio que permita calcular este parámetro.

Se evidenció un descenso de eficiencias en algunos de los parámetros de las plantas de El Chorro y Monjas, ya que en la primera se hicieron ajustes del filtro recientemente en el año 2022, mientras que en la segunda no existía un contrato que permita extraer las plantas de totora para su reemplazo.

En base a los resultados parciales se demostró que una intervención en las plantas de tratamiento, no necesariamente representarán una reducción inmediata y significativa en costos,

sino que estos deben planificarse tomando en cuenta que la opción sea la más viable para el tipo de sistema y que requiere de tiempo para que se acople a las necesidades de tratamiento.

## **10. RECOMENDACIONES**

Para evitar una inconsistencia con los registros de mantenimiento, se sugiere reducir el personal enviado a inspección si no se la ejecuta con la intención de un mantenimiento, reducir de seis personas a dos por visita reduciría significativamente la inversión.

Realizar un cronograma donde se planifique por meses el número de muestreos que se requieran, para que estos sean constantes es necesario mantener año a año esta planificación. Esto ayudará a que los costos de operación puedan apreciarse directamente por las acciones que se realicen en la planta y no por los costos de análisis de laboratorio aleatorios que se ejecutan, como ha venido sucediendo en el mantenimiento de las plantas.

Se sugiere construir una vía de acceso a la PTAR de San Pedro a la brevedad posible para que se logren ejecutar las obras de corrección correspondientes por el déficit de eficiencias y aumento de costos que presenta este sistema.

Revisar la necesidad de un oportuno cambio de sistemas en la planta de San Pedro si no se evidencia una mejora significativa en los próximos meses, debido a que es la planta que ha presentado los costos más altos y las eficiencias más bajas para el año actual.

Para tener una visión completa se recomienda finalmente completar los ensayos con todos los parámetros que deben ser tratados en el agua y disponer de todos los recursos que un laboratorio requiere año a año, y así evitar vacíos de datos que permiten comparar todas estas características.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas, W., & Ocampo, D. (2021). *Desarrollo de un sistema de saneamiento de aguas residuales en el recinto Tres Vías, parroquia San Gregorio, cantón Muisne, provincia de Esmeraldas*. Escuela Politécnica Nacional.
- Baeza, E. (2018). *Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales*. Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile / BCN.
- Escalante, V., Ramirez, E., Cardoso, L., Tomasini, C., & Moeller, G. (2006). *Operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de lodos activados*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Escobar, M. (2022). *Elaboración del diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las veredas: Rionegro, Media Naranja y Chicharronal, municipio de Corinto (Cauca)*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - CEAD Palmira.
- GAD CUENCA. (2022). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca - Actualización al 2022*. Municipalidad de Cuenca. <https://www.cuenca.gob.ec/content/pdot-pugs-2022>
- Gallegos, M., & Peñafiel, E. (2022). *Análisis de costos operativos y eficiencias de las PTARs rurales del cantón Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7, 52–73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Greeley and Hasen, A. (2017). *Diseños definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guangargucho, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador*.
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales : Principios , modelación y diseño*. IWA Publishing.
- Madalengoitia, L. (2021). Técnicas de mitigación de olores en plantas de aguas residuales domesticas: una revisión sistemática. In *Repositorio Institucional - UCV*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/83430#>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery by Metcalf and Eddy*, AECOM. (Fifth Edit). McGraw-Hill.
- Ocampo, M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. Inc y Tu.
- Once, J. D., & Herrera, F. J. (2014). *Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de Soldados y Churuguzo, cantón Cuenca, Azuay*. Universidad de Cuenca.
- Pineda, L. (2017). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja-Boyacá*. Universidad Católica de Colombia.
- Pulla, P., & Tapia, D. (2018). *Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de*

*aguas residuales de Santa Ana, parroquia Santa Ana, Cuenca, Ecuador.* Universidad de Cuenca.

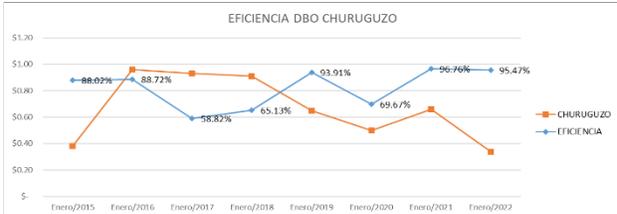
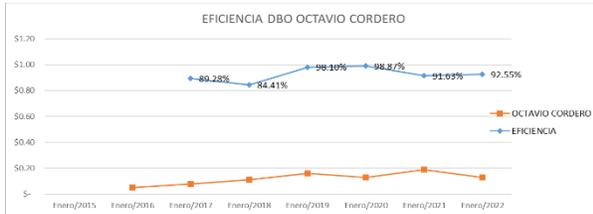
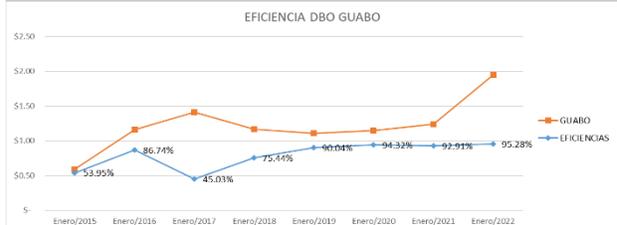
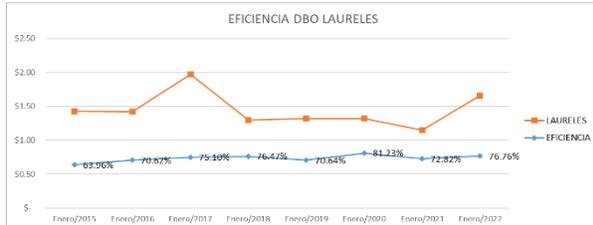
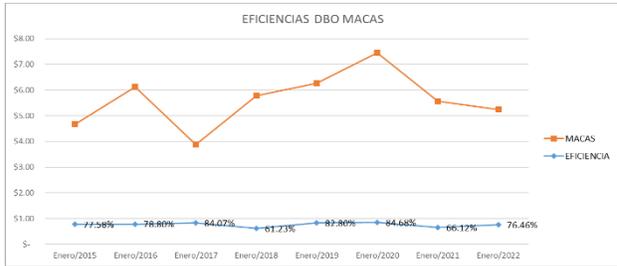
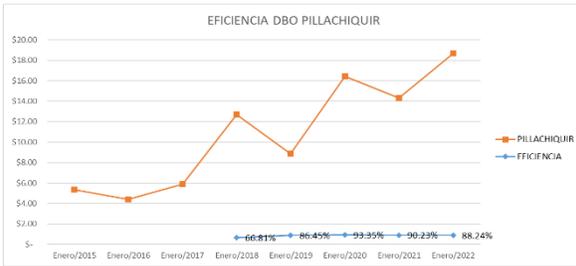
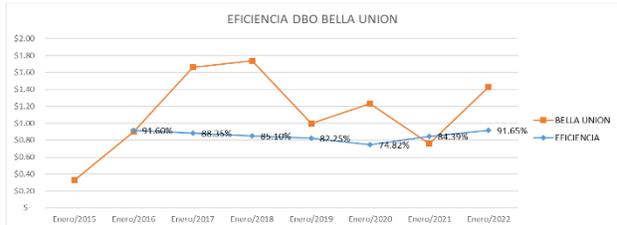
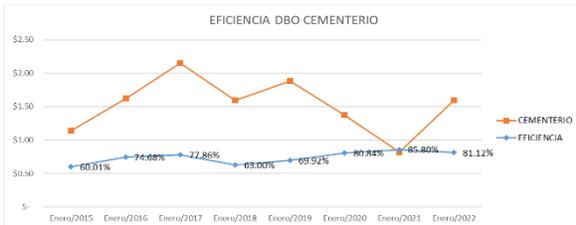
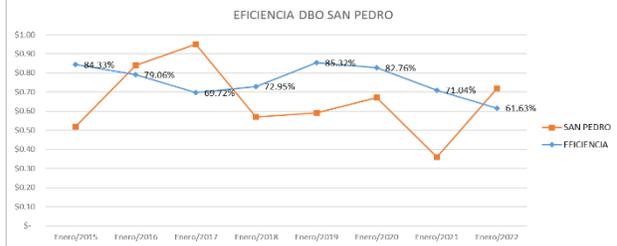
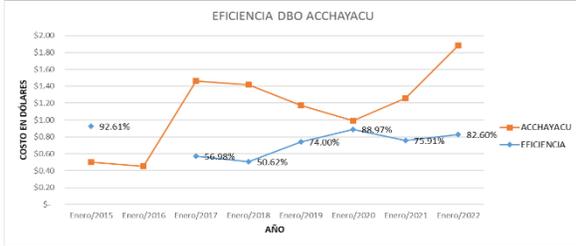
Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño* (Tercera Ed). Escuela Colombiana de Ingeniería.

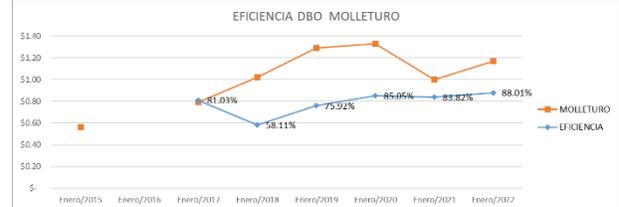
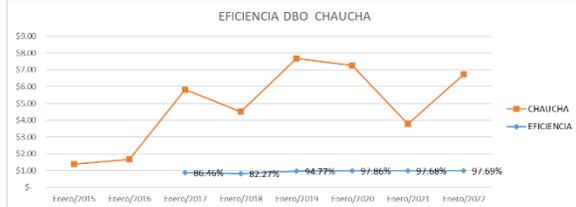
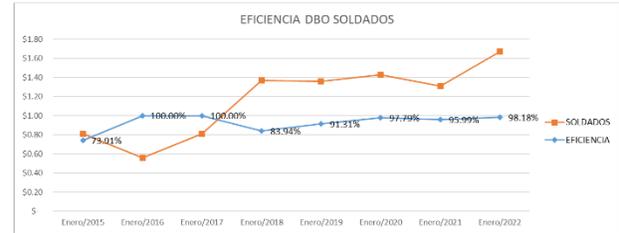
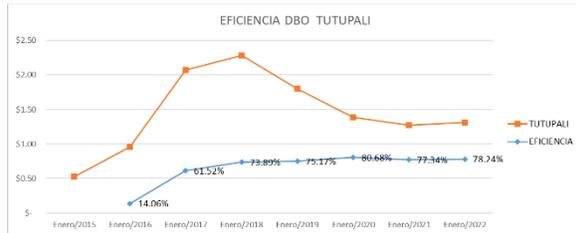
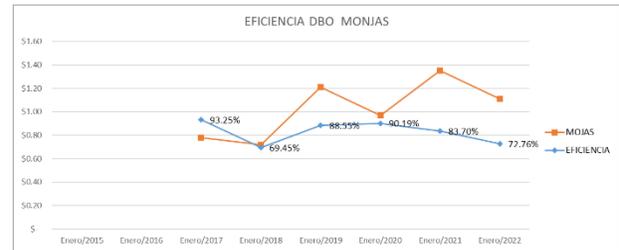
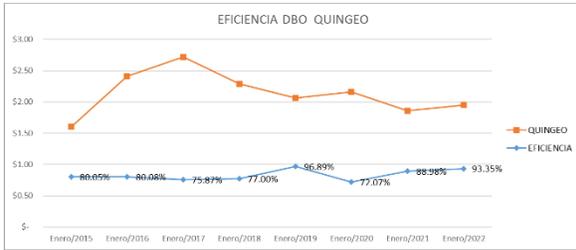
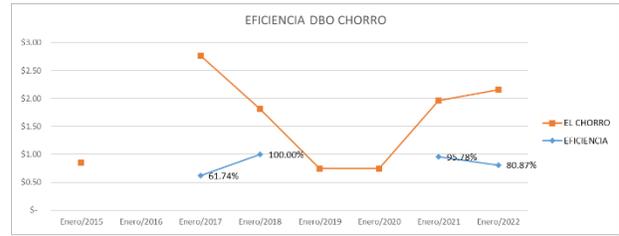
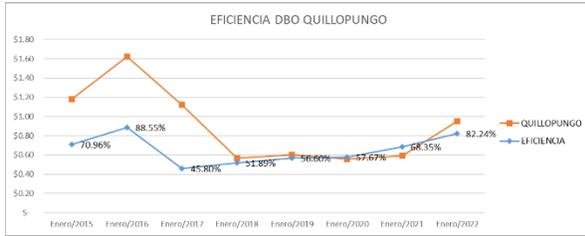
Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (2da edición). Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag). [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY et al 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY_et_al_2018_Compendio_de_sistemas_y_tecnologías_de_saneamiento.pdf)

Yunda, A. del R. (2019). *Análisis de la sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca.* Universidad de Cuenca.

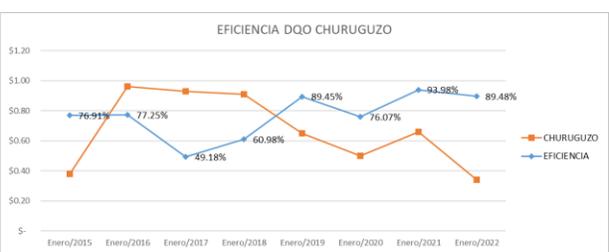
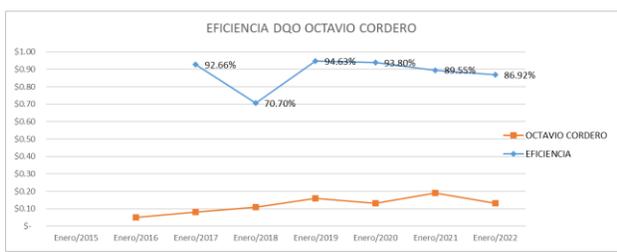
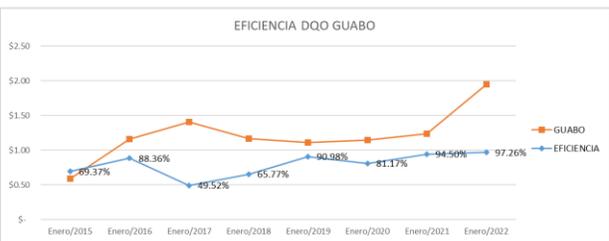
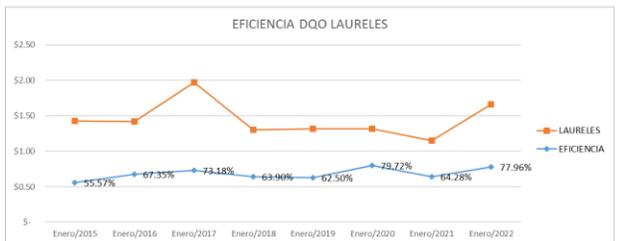
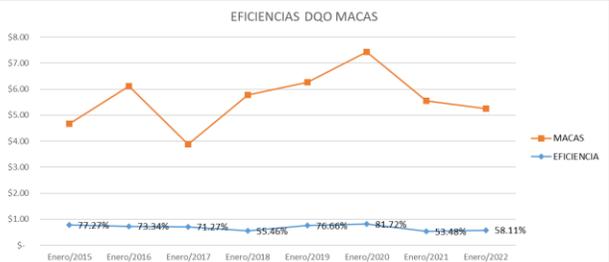
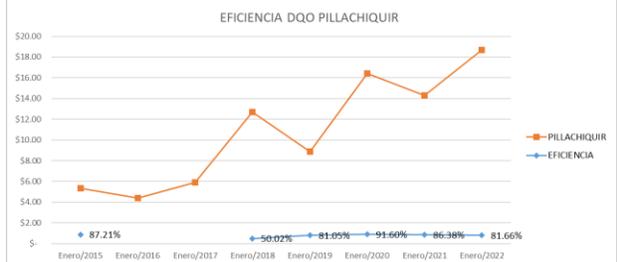
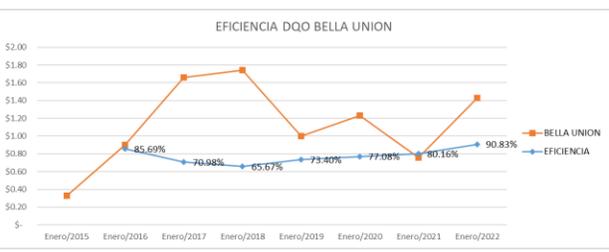
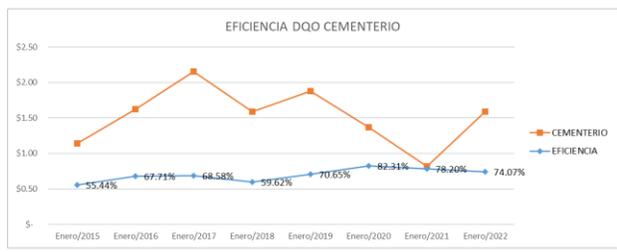
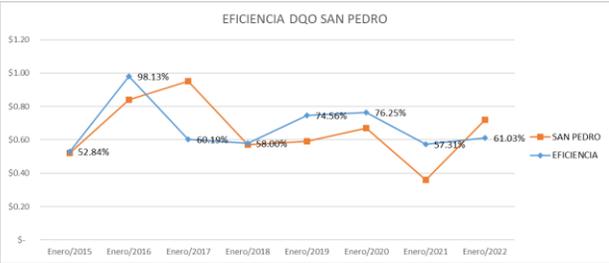
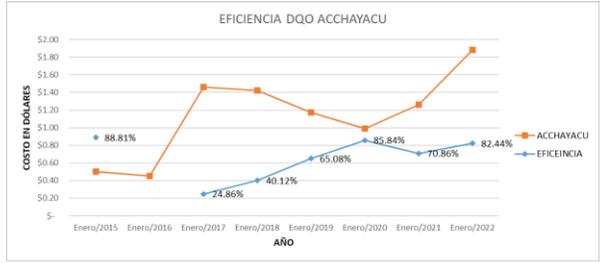
# 12. ANEXOS

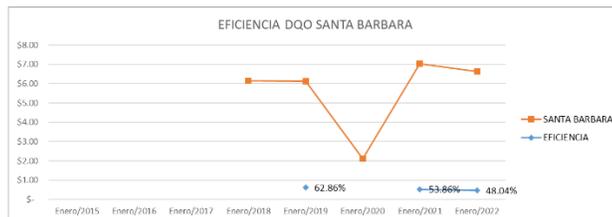
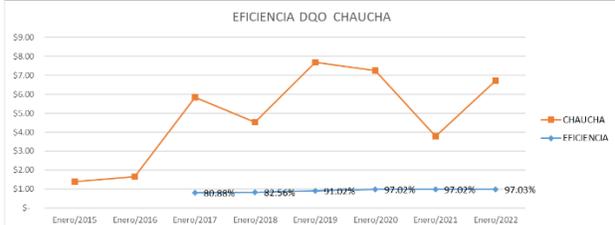
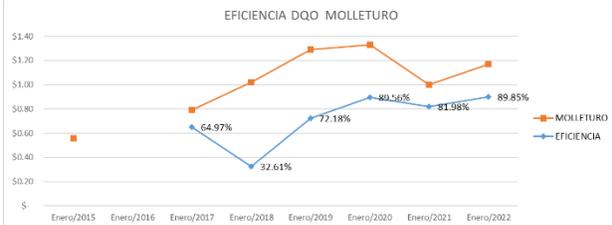
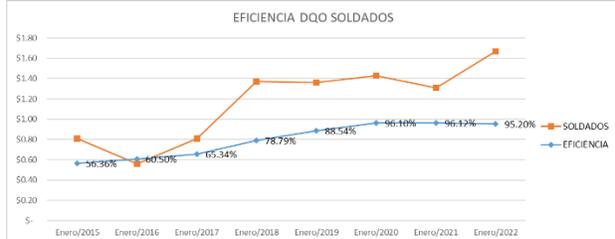
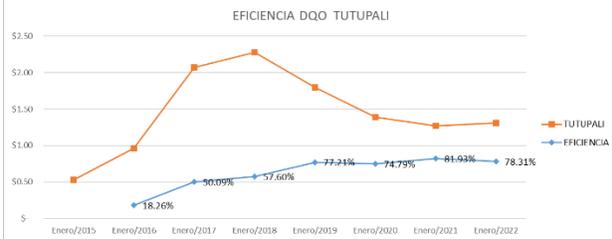
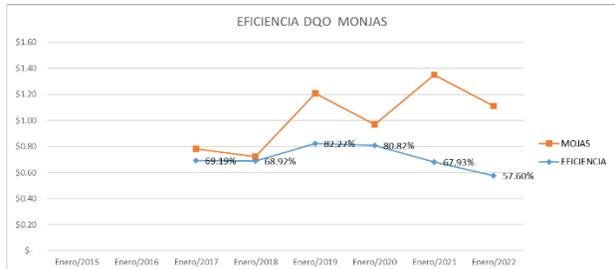
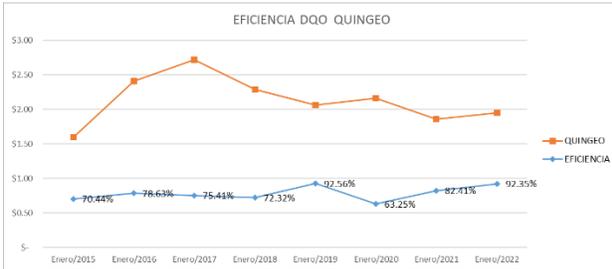
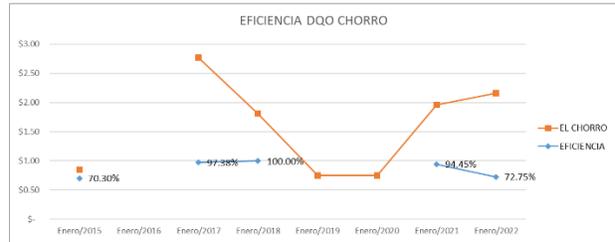
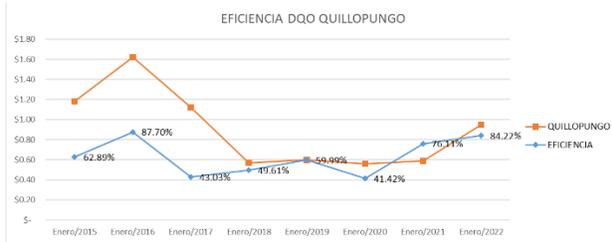
## EFICIENCIAS VS COSTOS DBO





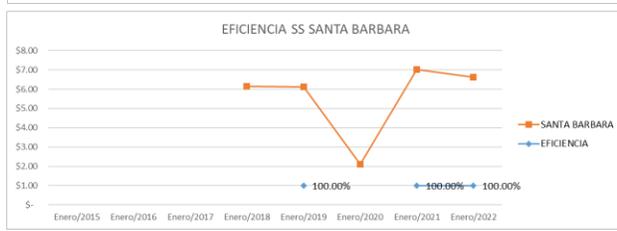
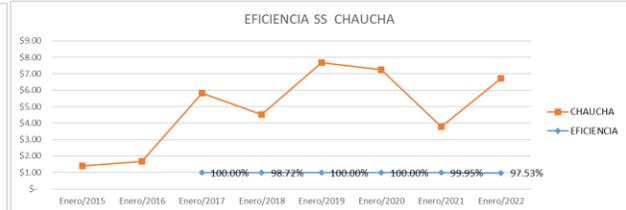
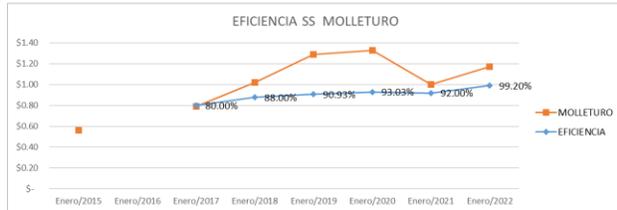
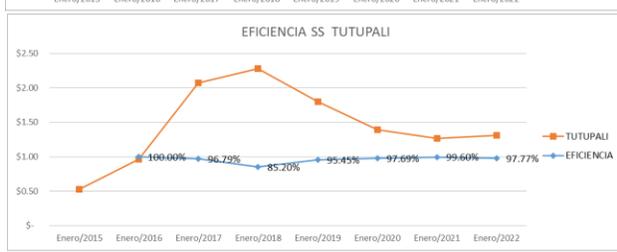
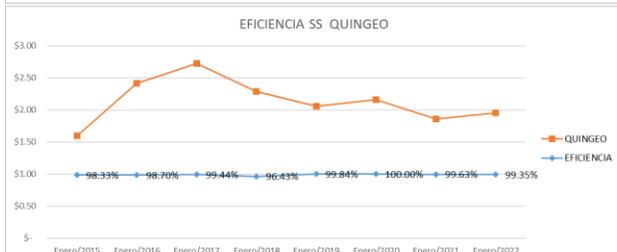
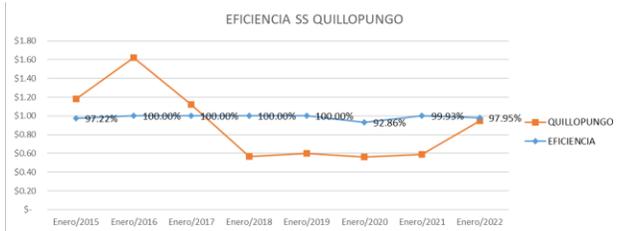
# EFICIENCIAS VS COSTOS DQO



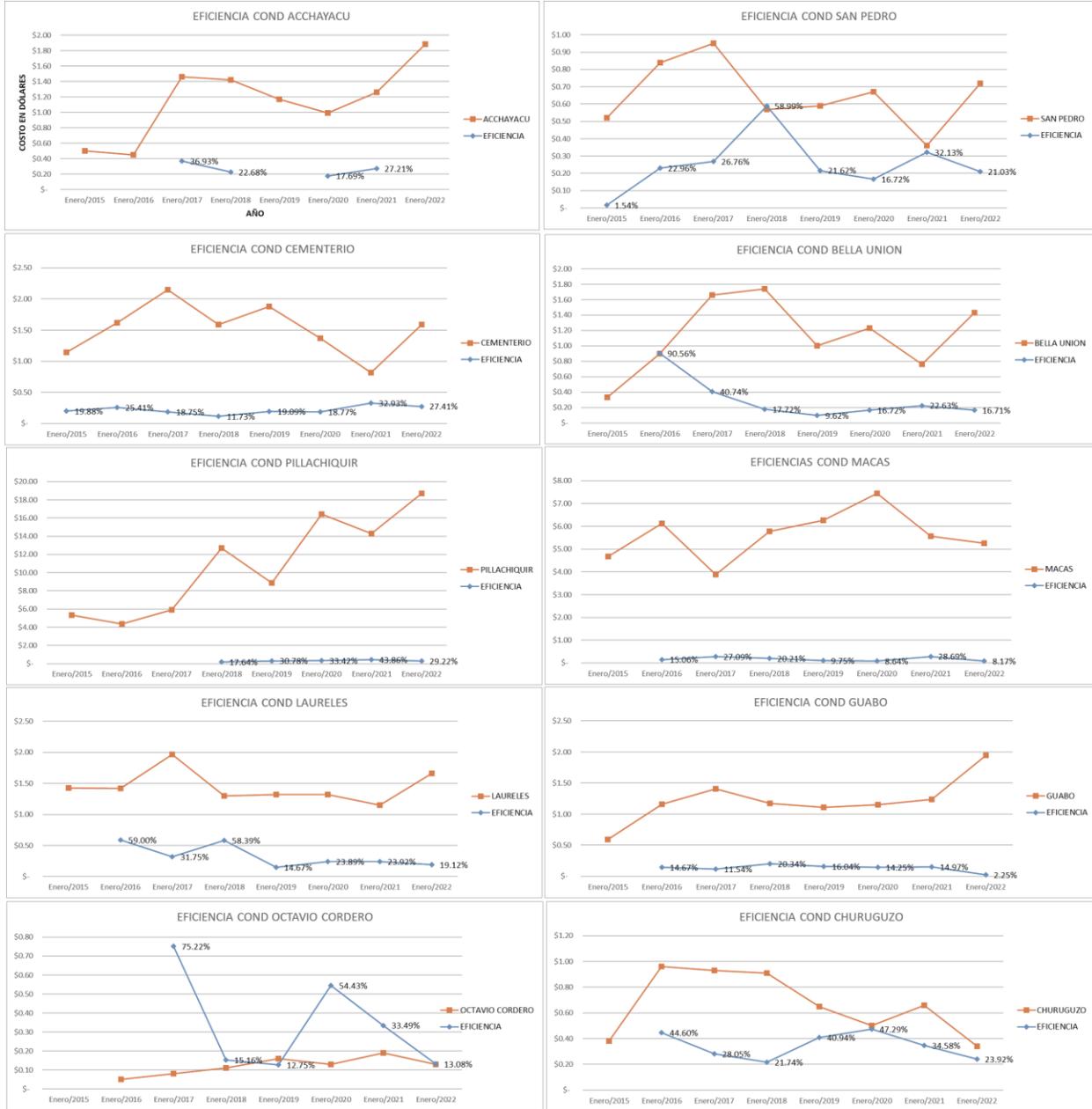


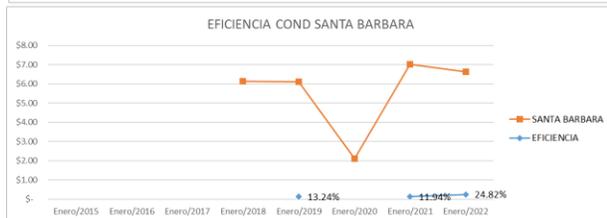
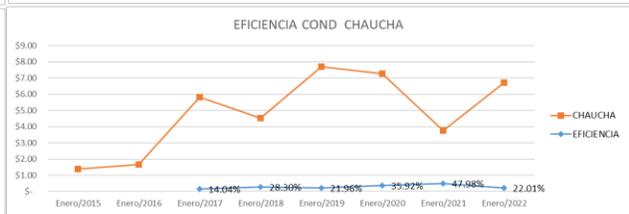
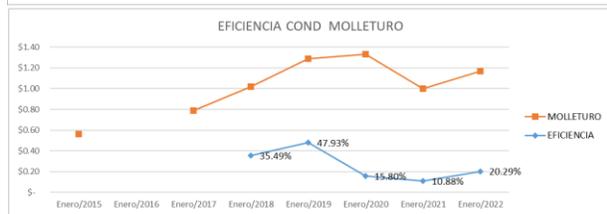
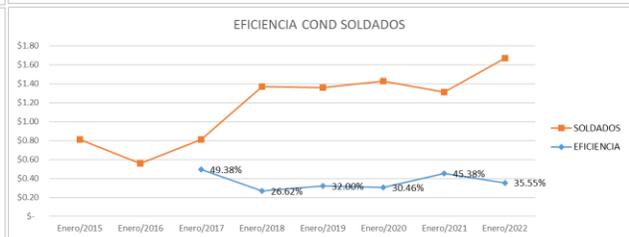
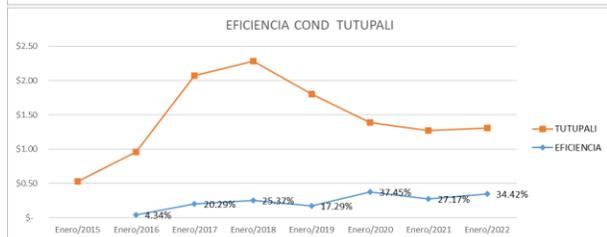
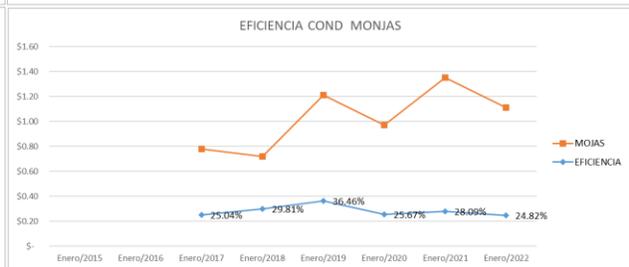
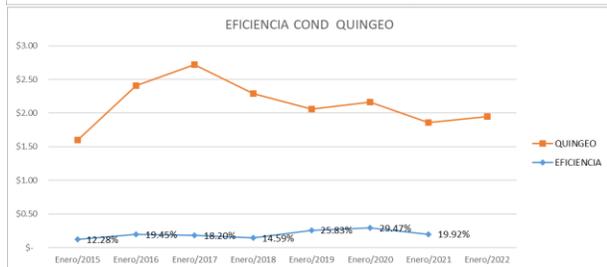
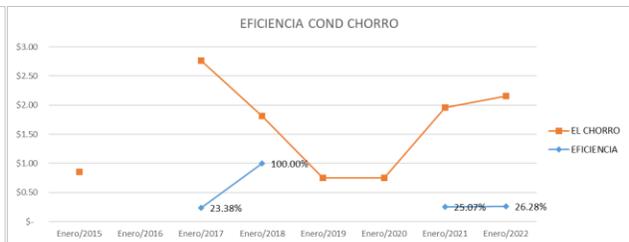
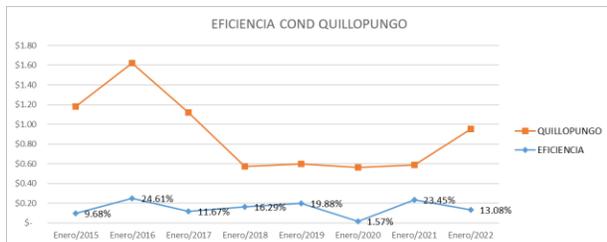
# EFICIENCIAS VS COSTOS SS



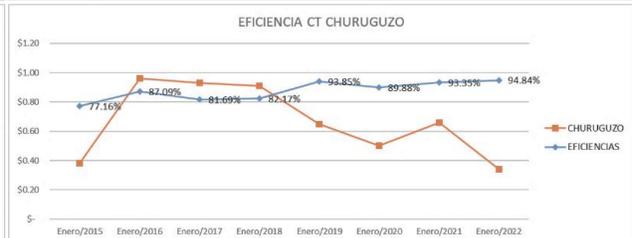
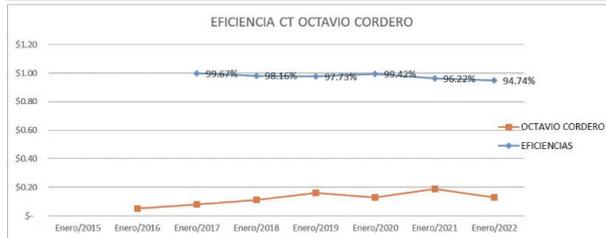
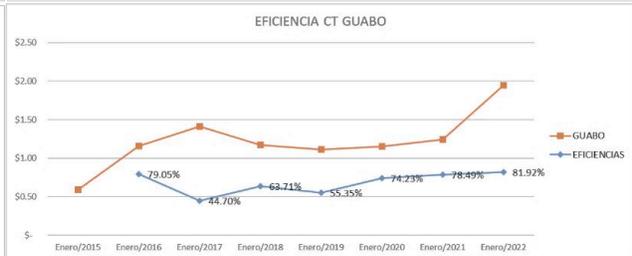
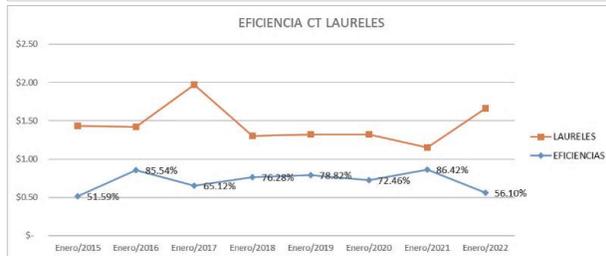
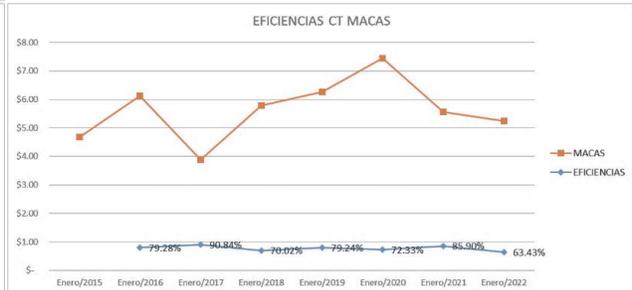
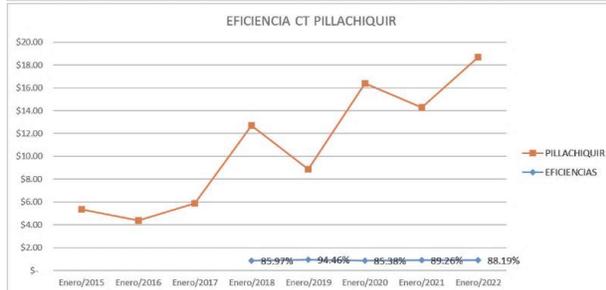
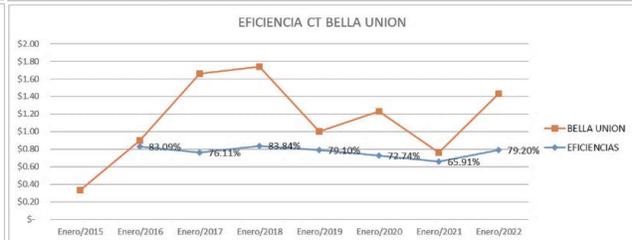
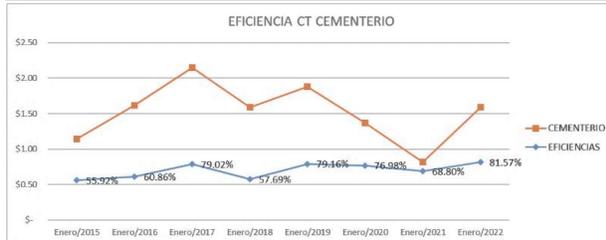
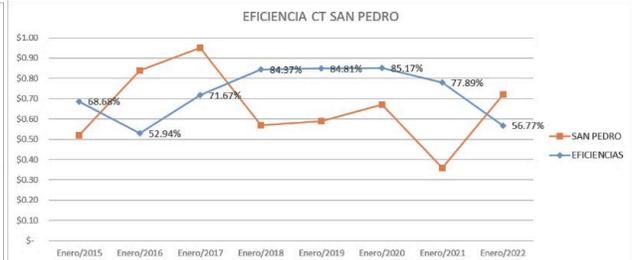
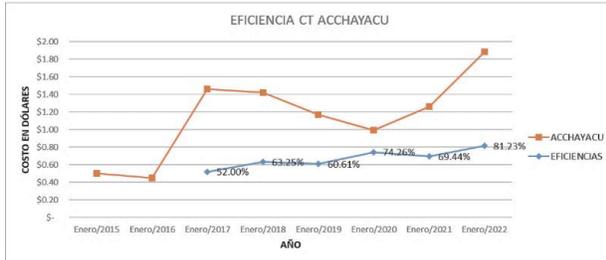


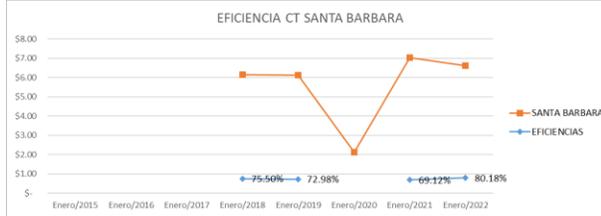
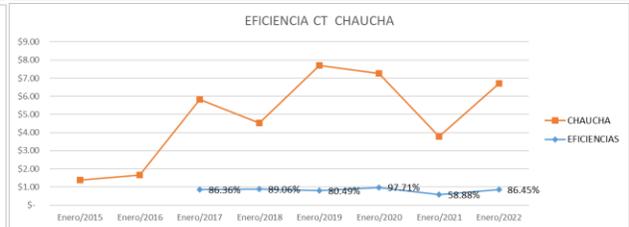
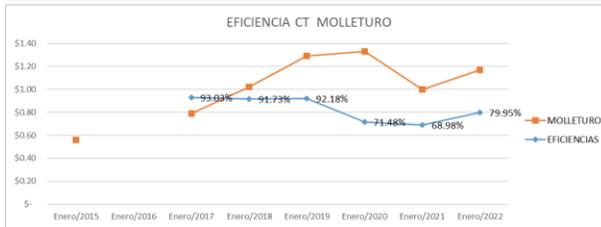
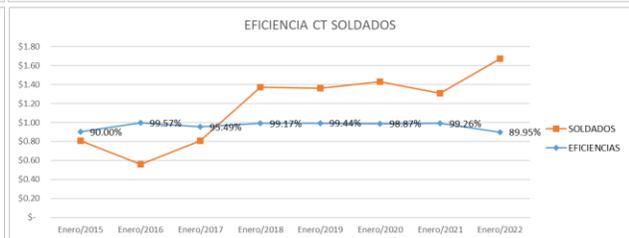
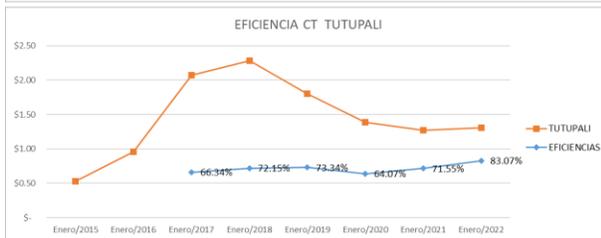
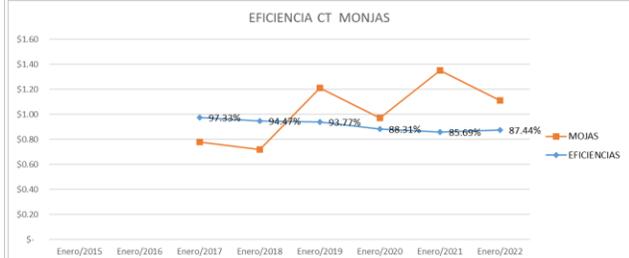
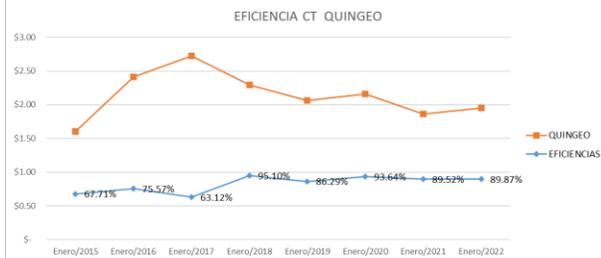
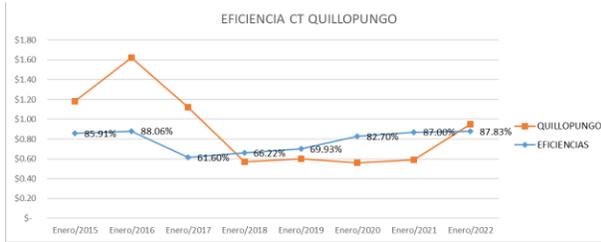
# EFICIENCIA VS COSTOS CONDUCTIVIDAD



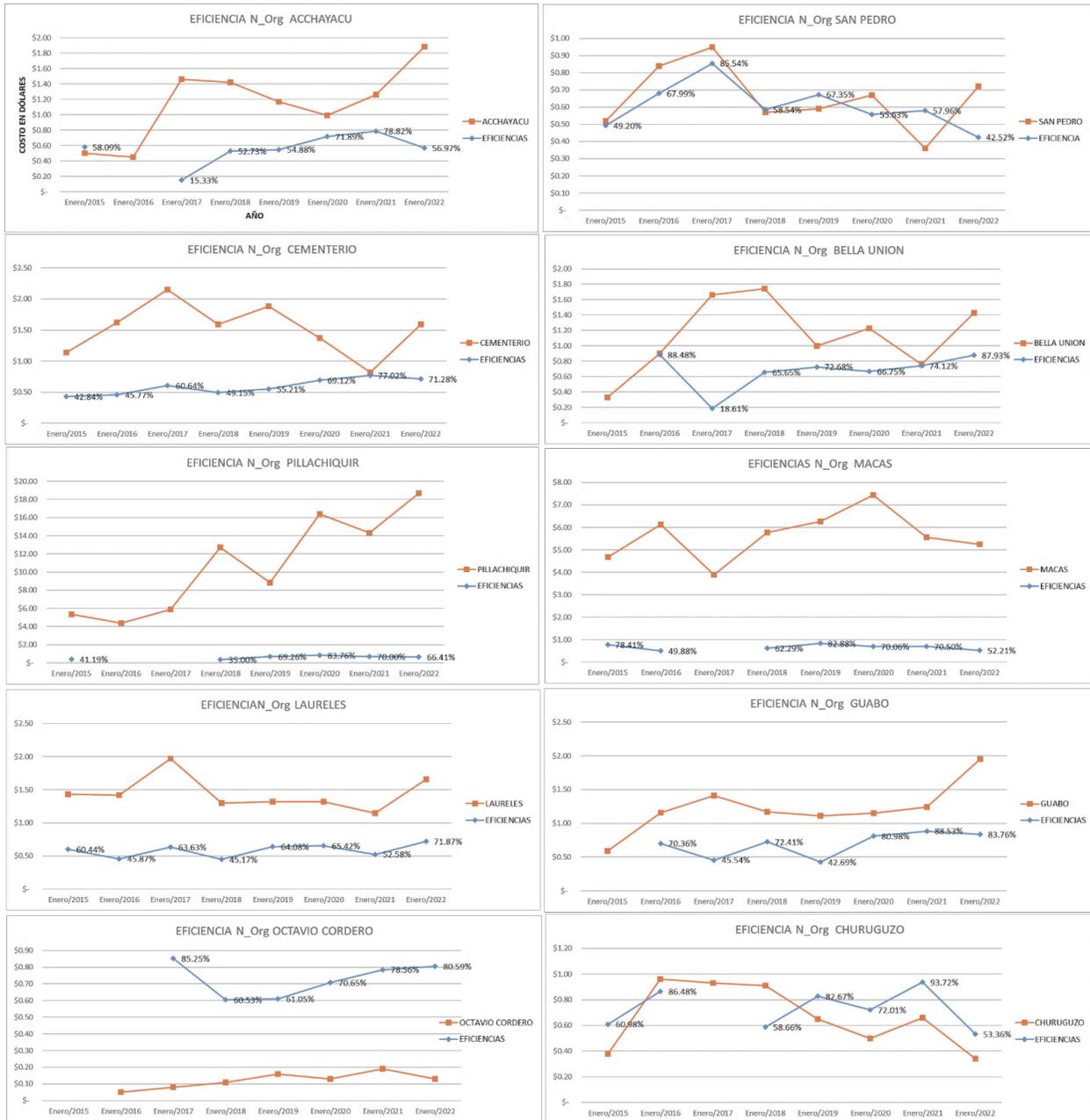


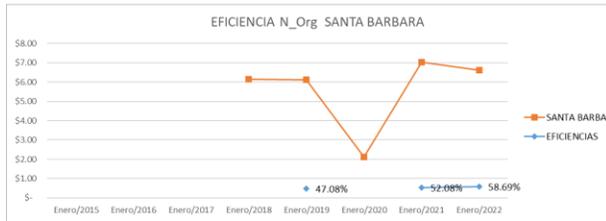
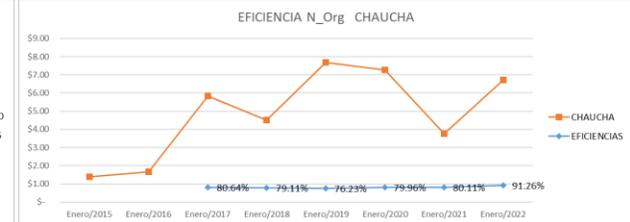
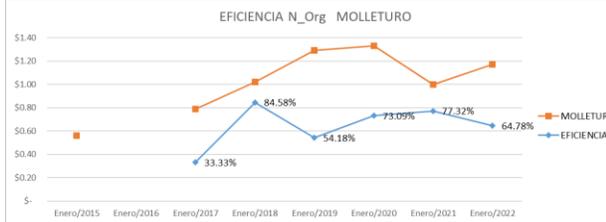
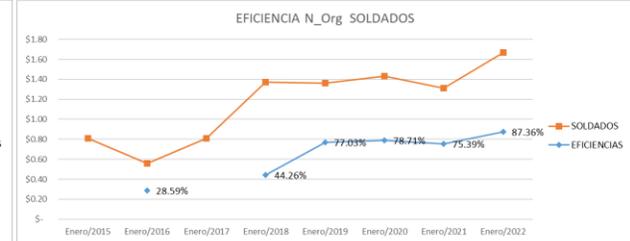
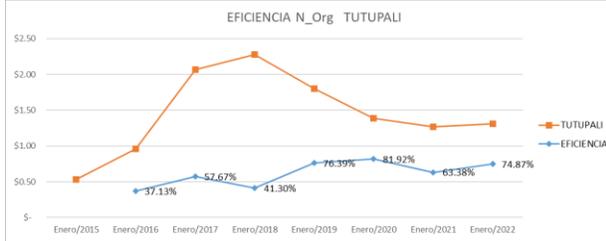
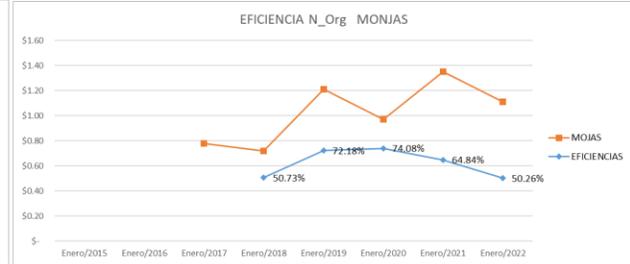
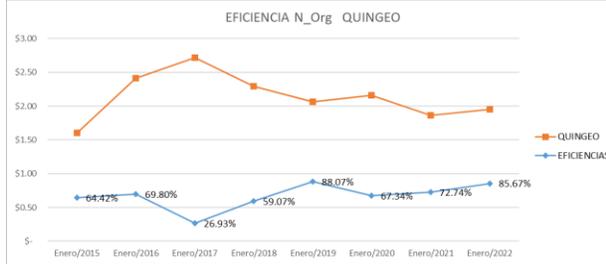
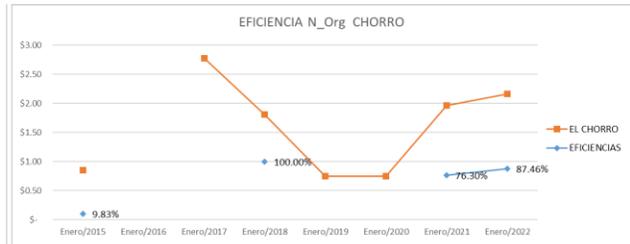
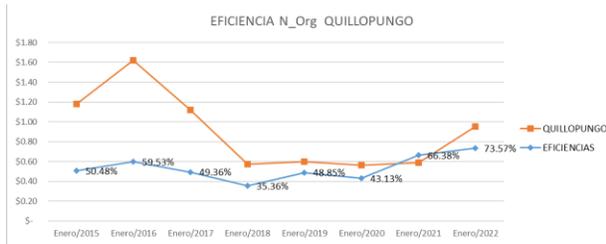
# EFICIENCIA VS COSTOS COLIFORMES TOTALES





# EFICIENCIA VS COSTOS NITRÓGENO ORGÁNICO





# EFICIENCIAS VS COSTOS OXÍGENO DISUELTTO

