



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

Análisis de costos operativos y eficiencias de las PTARs rurales del cantón Cuenca.

*Diseño del trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Civil y  
Gerencia en Construcciones.*

**AUTORES:**

Marco Josué Gallegos Solorzano

Emilio José Peñafiel Córdova

**DIRECTOR:**

Ing. Javier Fernández de Córdova Webster

**CO-DIRECTOR:**

Ing. María Verónica Rodas Ochoa

**Cuenca, Ecuador**

**2022**

## RESUMEN

Todo ser humano tiene el derecho de tener los servicios básicos a su alcance, ETAPA EP ha considerado la importancia de que varias poblaciones rurales cuenten con el servicio de tratamiento de aguas residuales; no obstante, se podría ver como un inconveniente a los altos costos operativos que presenta el tratamiento, mantenimiento y operación de estos sistemas de depuración de aguas servidas. En el presente trabajo se analizaron datos operativos, mismo que fueron interpretados para obtener los costos necesarios para tratar un metro cúbico de agua residual y comparar como han ido mejorando conforme se administran los recursos de una manera más eficiente. Posteriormente, mediante los análisis fisicoquímicos de las aguas servidas se pudo obtener las eficiencias que fueron necesarias para poder relacionarlas con los costos operativos. Finalmente se demostró que una correcta administración logra alcanzar un servicio eficiente provocando así que la descentralización sea una alternativa muy fuerte para abastecer de alcantarillado a poblaciones rurales que aún no cuentan con este servicio, con muy buena calidad y a un costo operativo bajo.

**Palabras clave:** eficiencia, costo operativo, mantenimiento, tratamiento, agua residual.



---

Marco Josué Gallegos Solorzano



---

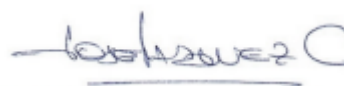
Emilio José Peñafiel Córdova



---

Ing. Carlos Javier Fdez. de Córdova Webster

**Director de tesis**



---

Ing. José Fernando Vázquez Calero

**Director de la escuela de Ing. Civil**

## ABSTRACT

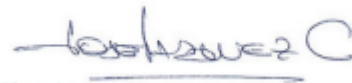
Every human being has the right to have basic services within their reach. ETAPA EP has considered the importance of wastewater treatment service in several rural populations of the region. However, the high running costs of the treatment, maintenance, and operation of these systems are considered as a limitation. In the present project, operational data was analyzed in order to obtain the costs to treat a cubic meter of wastewater, and compare how the resources can be managed more efficiently. Afterwards, through the physicochemical analysis of the wastewater, it was obtained the efficiencies that were necessary to be able to relate them with operational costs. Finally, it was shown that a correct administration achieves an efficient service. So, decentralization of the administration will be considered as a powerful alternative to supply sewerage to rural populations that do not have this service with high quality and at a low operation cost

**Key words:** efficiency, operating cost, maintenance, treatment, wastewater.



---

Ing. Carlos Javier Fdez. de Córdoba Webster  
**Thesis Director**



---

Ing. José Fernando Vázquez Calero  
**Director of Civil Engineering**

### Authors



---

Marco Josué Gallegos Solorzano



---

Emilio José Peñafiel Córdoba

### Translated by



---

Mgst. Gabriela Estefanía Peñafiel Córdoba  
**Translator**



## CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
OBJETIVO GENERAL.....	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
ANTECEDENTES.....	1
ALCANCE.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
CAPÍTULO 1. MODELACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO.....	10
1.1 ÁREAS DE APORTE.....	10
1.2 POBLACIÓN SERVIDA.....	12
1.3 DOTACIONES.....	13
1.4 CÁLCULO HIDRÁULICO.....	14
CAPITULO 2. ESTIMACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS.....	14
2.1 VARIABLES OPERATIVAS.....	14
Estructuras de ingreso.....	14
Fosa séptica.....	15
Filtro anaerobio.....	16
Reactor anaerobio.....	16
Humedal.....	17
Mantenimiento de acceso.....	17
Muestreo.....	19
2.2 CÁLCULO DE LOS COSTOS OPERATIVOS.....	20
CAPÍTULO 3. RENDIMIENTO DE LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	28
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS TRATADAS.....	28
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	28
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	28
Fosforo Total (PT).....	28
Nitrógeno Orgánico (NOrg).....	29
Solidos sedimentales (SS).....	29
Solidos Totales (ST).....	29
Solidos Suspendidos (SST).....	29
Coliformes Totales (CT).....	30

Coliformes Fecales (CF) .....	30
3.2 EFICIENCIAS DE LAS PTARs.....	30
CAPITULO 4. PROYECCIONES Y CONTRASTES CON PROYECTOS ANTERIORES. ....	37
4.1 PROYECCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS .....	37
4.2 RESULTADOS DE ESTUDIOS ANTERIORES. ....	38
4.3 COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIOS ANTERIORES VS LOS ACTUALES.....	38
Dotación .....	38
Densidad poblacional.....	38
Cálculo hidráulico.....	39
Costo de la poda.....	39
Incremento de sueldos de los trabajadores.....	39
Diferente método de proyección .....	39
Diferencia de resultados .....	39
4.4 RESULTADOS DE UN MAYOR CONTROL EN LA GESTIÓN DE RECURSOS. .42	
Comparación entre plantas de tratamiento de aguas residuales con tratamiento secundario de tipo humedal horizontal.....	49
Comparación entre plantas de tratamiento de aguas residuales con tratamiento secundario de tipo filtro anaerobio .....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	56
Anexo 1. Áreas de aporte de las plantas de tratamiento de agua residual.....	56
Anexo 2. Tablas de eficiencias de las plantas de tratamiento de agua residual para los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.....	60
Anexo 3. Gráficos de regresión lineal de los costos operativos anuales de las PTARs.....	63
Anexo 4. Gráficos de costos vs eficiencia de las plantas de tratamiento de agua residual. .65	
Eficiencias DBO vs costos operativos .....	65
Eficiencia DQO vs costos operativos .....	68
Eficiencia de Sólidos suspendidos vs costos operativos .....	71
Eficiencia de Coliformes totales vs costos operativos .....	73
Eficiencia de nitrógeno orgánico vs costos operativos .....	76
Eficiencia de oxígeno disuelto vs costos operativos .....	78
Anexo 5. Gráficos de eficiencias de las plantas de tratamiento de agua residual desde el año 2015 hasta el año 2021. ....	81
Eficiencias DBO .....	81
Eficiencias DQO.....	83

Eficiencia coliforme totales.....	85
Eficiencia nitrógeno orgánico .....	87
Eficiencia oxígeno disuelto.....	89
Eficiencia sólidos suspendidos.....	91
Anexo 6. Tabla de costos operativos proyectados hasta el año 2040. ....	93
Tabla A6.1 Costos anuales de las plantas de tratamiento de agua residual proyectados hasta el año 2040. ....	93
Tabla A6.2 Costos por metro cúbico de las plantas de tratamiento de agua residual proyectados hasta el año 2040. ....	94

## **OBJETIVO GENERAL**

Comparar las eficiencias con los costos operativos de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Analizar los caudales teóricos mediante la modelación de redes de alcantarillado.
2. Calcular costos operativos a través de variables operativas.
3. Comparar los costos con las eficiencias.
4. Proyectar y comparar los costos operativos actuales con los del 2019.

## **ANTECEDENTES**

*Análisis de la sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca*, publicado por Arleth Yunga en el año 2019.

Presentan una comparación Operación - Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales descentralizadas operadas por ETAPA EP, en donde su análisis no fue basado completamente con datos obtenidos de las PTARs; debido a la falta de información (datos), se impusieron valores para poder completar el análisis operacional.

## **ALCANCE**

1. Determinar el cambio en las eficiencias al controlar los costos operativos.
2. Analizar los caudales teóricos y proyectarlos hasta el año 2040.
3. Recomendar acciones correctivas en caso de ser necesario.

## **JUSTIFICACIÓN**

En este análisis se pretende contrastar los costos operativos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en años anteriores con los datos actuales y así poder llegar a la conclusión de ver si los recursos empleados son óptimos para tener costos bajos sin afectar la calidad del servicio.



## INTRODUCCIÓN

Todo ser humano tiene derecho al servicio de saneamiento, el cual en gran parte aun no cuentan con este a su alcance. Actualmente unos 2400 millones de personas no disponen de este servicio, por lo que se han visto obligadas a depositar sus desechos sanitarios directamente a la naturaleza sin previo tratamiento. Esta práctica es la causante de que más de 2 millones de personas mueran cada año debido a la falta de higiene y exposición a aguas contaminadas (PEREZ, 2019).

El aumento poblacional a nivel del país es directamente proporcional al aumento de la demanda de agua potable, lo que da como resultado el aumento del volumen de aguas residuales generada por la población; es decir, aumento de sistemas de saneamiento y tratamientos de aguas residuales (alcantarillados). El saneamiento es un proceso mediante el cual se busca la purificación del estado de las aguas servidas que posteriormente serán usadas o devueltas de manera óptima a la naturaleza (OCAMPO, 2019).

### **Saneamiento en Ecuador**

Ecuador cuenta con un déficit importante de inversión en infraestructura sanitaria debido al efecto de bajas eficiencias y altos costos en la prestación de los servicios; algunos motivos pueden ser:

- Desconocimiento de la obligación de la prestación de servicios de saneamiento a niveles urbanos y rurales (ORDOÑEZ, 2004).
- Ausencia de un organismo rector que impida el ordenamiento adecuado del sector y que apoye a la implementación de saneamiento (ORDOÑEZ, 2004).
- La falta de apoyo político al Consejo de Modernización del Estado (ORDOÑEZ, 2004).

En Ecuador, la Constitución de la República del 2008 reconoce la gestión pública-comunitaria. Según el último censo, al menos tres millones y medio de personas tienen acceso a los servicios de saneamiento por medio de empresas comunitarias de servicio público. Las empresas comunitarias han sido importantes a lo largo de la historia, canciones, leyendas, creencias, etc.; ya que cuentan con significados que

combinan el conocimiento científico de manera global comprendiendo las variadas maneras de gestionar el uso del agua en las comunidades (ACOSTA, 2019).

En la gran mayoría de países sudamericanos no disponen de un suministro de saneamiento adecuado, ya que, en su gran parte estos no cubren los requerimientos de la población; viéndose así la población media a baja (pobre) más vulnerable a no tener un adecuado servicio sanitario o en ocasiones no disponer de servicios básicos fundamentales para el día a día; esto ha provocado daños al bienestar y a la calidad de vida de millones de personas, encontrando altos índices de enfermedades relacionadas con la mala higiene, acceso escaso de saneamiento o mala purificación del agua potable. Considerando que para el 2030, un aproximado del 60% de la población ecuatoriana habitará en ciudades, debido a las condiciones económica, culturales y políticas; se deben tomar acciones correctivas para la deficiencia del saneamiento, buscando así mejorar la cobertura y servicio, garantizando así un efectivo saneamiento sanitarios (DAVILA, 2005).

### **Saneamiento en Cuenca**

El primer sistema de alcantarillado fue construido en los años 1968 y 1985, en donde no se encontraba un correcto funcionamiento de acuerdo a lo que se tenía como objetivo, esto se debió a que se detectaron varias conexiones ilícitas y descargas sanitarias que llegaban o se unían a colectores pluviales y viceversa, dañando así el tratamiento del sistema sanitario. En la actualidad un gran porcentaje de los sistemas de alcantarillado son de tipo combinado; los mismos que son transportados hacia la PTAR de Ucubamba para su respectivo tratamiento, garantizando el servicio y mejorando las condiciones sanitarias de los usuarios; todo este procedimiento da como resultado la conservación de la belleza natural de la ciudad de Cuenca como son sus ríos y quebradas, y el resto de parroquias del Cantón (ZAMORA, 2015).

La empresa pública ETAPA EP ha evaluado los cuatro ríos principales de la ciudad de Cuenca a través del índice WQI desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los Estados Unidos de América, basándose en nueve parámetros: oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales, variación de temperatura, pH, nitratos, fosfatos y DBO5; obteniendo cinco categorías de calidad (PAUTA, 2010).

La mayoría de profesionales recomiendan incluir en el índice, parámetros de las cinco categorías consideradas como más importantes (PAUTA, 2010):

1. Nivel de oxígeno, por la importancia en la capacidad de autodepuración de las corrientes.
2. Eutrofización, por constituir un problema del ecosistema con efectos en los usos del agua.
3. Aspectos de la salud, por el riesgo sanitario.
4. Características físicas, por la importancia en la estética del agua.
5. Sustancias disueltas, por la relación de la presencia de iones.

### **Saneamiento descentralizado**

En Ecuador, como en todo el mundo se sigue con la urbanización de su territorio, hasta el año 2015 la población rural del Ecuador representaba el 37% de todos los ecuatorianos, disminuyendo así el porcentaje de ruralidad, en todas las comunidades que siguen a la espera de un sistema de saneamiento. El inconveniente principal para estos sistemas centralizados es la generación de dudas para estas obras grandes repartidas entre las pocas personas que la habitan. Es por esto que la mejor opción para parroquias rurales son las plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas que se puedan ir adaptando a los cambios y exigencias que la comunidad presente (AGUILAR, 2015).

En el cantón de Cuenca, se cuenta con 17 plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas, las cuales son: El Guabo, El Chorro, San Pedro, Laureles, Cementerio Santa Ana, Quingeo, Macas, Soldados, Quillopungo, Churuguzo, Molleturo, Acchayacu, Tutupali, Octavio Cordero, Monjas, Chaucha y Bella Unión. Estas PTAR son manejadas y administradas por ETAPA EP, la cual desarrolla permanentemente labores de mantenimiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales. Entre los costos operativos que se incurren para el mantenimiento de las PTAR se puede considerar el traslado del personal a las parroquias, insumos utilizados para el mantenimiento, caracterización del agua tratada, mantenimiento de estructuras de ingreso, fosa séptica, filtro anaerobio, reactor anaerobio, humedales y mantenimiento de accesos, poda de vegetación, etc. (YUNGA, 2019).

Estos trabajos se ven registrados mediante formularios que se llenan durante cada inspección de mantenimiento y luego tabulados en una base de datos para que quede registrado el costo de cada visita. Se ha visto importante conocer el rendimiento

de estas PTAR comparada con los costos operativos, para saber si la gestión que está realizando ETAPA EP es óptima y las aguas readecuadas no están generando una afectación a la naturaleza de las respectivas parroquias (YUNGA, 2019).

El presente trabajo investigativo es la complementación y la reestructuración de la tesis antes ya publicada por Arleth Yunga en el año 2019, en donde se pretende comparar la relación eficiencia-costos con la sostenibilidad operacional de las PTARs descentralizadas que se encuentran a cargo de la empresa ETAPA EP en la actualidad.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

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).

### 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 (DE LA VEGA, 2012).

### 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 (DE LA VEGA, 2012).

### 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).

Tratamiento terciario	{	HUMEDALES (WETLAND) RAFA, WASB + HUMEDAL TANQUE IMHOFF + WETLAND SEDIMENTACIÓN +
-----------------------	---	---

Adicionalmente en tratamientos se puede encontrar tres clasificaciones los cuales se dividen en:

### Tratamientos Físicos:

- Cribado y tamices: Eliminan las sustancias sólidas nocivas del agua.

- Filtración: Separa las sustancias sólidas de los líquidos.
- Microfiltración: Separa partículas, bacterias y levaduras.
- Ultrafiltración: Filtra partículas, microorganismos, proteínas y turbiedad del agua.
- Nanofiltración: Separa virus, iones de metales pesados, moléculas grandes y partículas muy pequeñas.
- Osmosis inversa: Se usa para obtener agua ultrapura.
- Flotación: Las sustancias suspendidas en los líquidos se elevan a la superficie con la ayuda de burbujas de aire. Se emplea para separar aceites, grasas y sustancias sólidas finas suspendida. (CABRERA, 2018).
- Sedimentación: Este método usa la fuerza de gravedad en tanques de sedimentación para separar las partículas sólidas (CABRERA, 2018).

### **Tratamientos Químicos:**

- Oxidación/reducción: se usa principalmente para eliminar los hidrocarburos clorados y pesticidas del agua potable, por medio de la oxidación radical con ozono y peróxido de hidrogeno (CABRERA, 2018).
- Adsorción y quimisorción: se usa para recaudar sustancias que no se pueden eliminar del agua, además ayuda a la eliminación de metales pesados y del arsénico; esto se realiza con un método de carbones activos que recolectan sustancias disueltas en el agua (CABRERA, 2018).
- Precipitación: se usa para la eliminación de metales pesados que son difícilmente solubles, por medio de un proceso químico en el cual se disuelve una sustancia, obteniendo así una separación de una solución de otra (CABRERA, 2018).
- Floculación: se usan aditivos químicos, más conocidos como floculantes, obteniendo así la separación de partículas más finas que se encuentran suspendidas en el agua (CABRERA, 2018).
- Intercambiador de iones: se usan para equipos que cuenten con recubrimiento galvánico en donde contienen los iones de metal; su

función principal es el intercambio de dichos iones de una solución por otros iones de otra solución (CABRERA, 2018).

### **Tratamientos Biológicos:**

En tratamientos biológicos se encuentra tres principales que son:

- Remoción biológica de fósforo
- Remoción biológica de nitrógeno
- Remoción biológica de carbonos

# CAPÍTULO 1. MODELACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO.

## 1.1 ÁREAS DE APORTE

Para el presente diseño se establecen áreas de aporte o tributarias de la población servida actual y de la población a futuro. Las áreas de aporte son conjunto de tramos divididos para el área total del terreno. Para el presente caso las áreas de aporte fueron trazadas en AutoCAD (Anexo 1), las mismas que, fueron proyectadas para los años que crece la población (2022-2040). El criterio de la distribución del trazado fue considerando las zonas que contengan mayor cota que de la tubería existente, dando así un correcto funcionamiento del caudal o flujo. Como resultados se puede observar el trazado de cada red de alcantarillado con sus respectivas áreas de aporte:

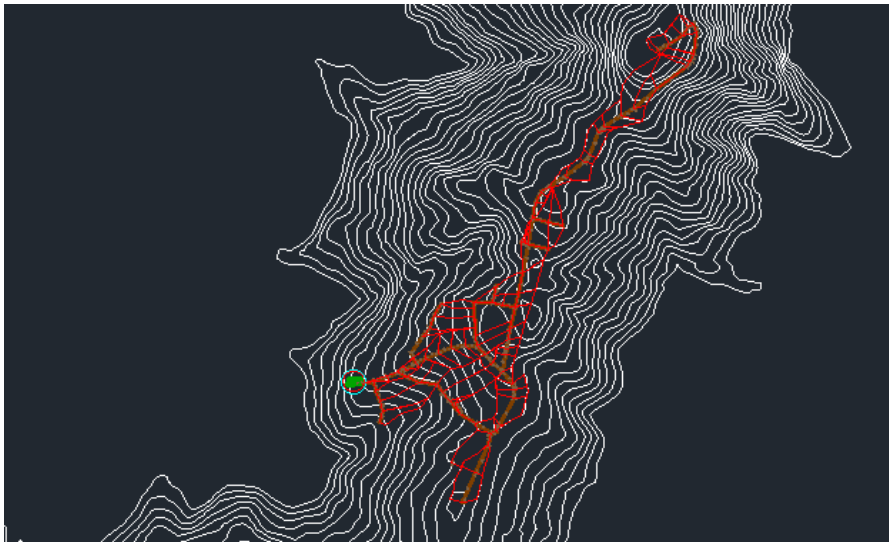


Imagen 1.1. Áreas de aporte de la planta de tratamiento Cementerio.  
FUENTE: AUTORÍA PROPIA.



Tabla 1.1. Resumen de las áreas de aporte de las PTARs

<b>No</b>	<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>AREA (ha)</b>
1	Cementerio	9.02
2	Churuguzo	637.97
3	Cumbe	35.81
4	El Chorro	47.9
5	Escaleras	24.68
6	Macas	11.1
7	Molleturo	10.83
8	Monjas	18.62
9	Quillopungo	65.74
10	Quingeo	51.60
11	Santa Barbara	9.15
12	Acchayacu	586.66
13	Bella Unión	76.52
14	Guabo	25.4
15	Jatumpamba	10.62
16	Laureles	9.43
17	Octavio Cordero	187.09
18	San Pedro	66.17
19	Soldados	66.67
20	Tarqui	96.67
21	Tutupali	27.51

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

## 1.2 POBLACIÓN SERVIDA.

La población servida se calculó para cada área de aporte de cada planta de tratamiento, desde el año 2015 hasta el año 2040; esto se realizó mediante las densidades poblacionales establecidas en los archivos shapes proporcionados por ETAPA EP; en donde, se resuelve el número poblacional por medio de la aplicación de QGIS, donde se proyecta el número poblacional en la zona de cada planta de tratamiento, obteniendo así el número poblacional de cada sector. Obteniendo así la cantidad exacta de habitantes que serán servidos por cada planta de tratamiento.

*Tabla 1.2. Resumen de la población servida del año 2015 y 2040 de las PTARs*

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>AÑO 2015</b> (hab)	<b>AÑO 2040</b> (hab)
<b>Cementerio</b>	115	412
<b>Churuguzo</b>	707	765
<b>Cumbe</b>	17	17
<b>El Chorro</b>	54	81
<b>Escaleras</b>	161	180
<b>Macas</b>	6	9
<b>Molleturo</b>	69	69
<b>Monjas</b>	49	49
<b>Quillopungo</b>	373	550
<b>Quingeo</b>	220	220
<b>Santa Barbara</b>	18	22
<b>Acchayacu</b>	120	117
<b>Bella Unión</b>	150	261
<b>Guabo</b>	164	255
<b>Jatumpamba</b>	54	62
<b>Laureles</b>	119	140
<b>Octavio Cordero</b>	1263	1922
<b>San Pedro</b>	159	205
<b>Soldados</b>	22	22

<b>Tarqui</b>	293	325
<b>Tutupali</b>	116	129

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

### 1.3 DOTACIONES

Las dotaciones en este caso, se obtiene por medio de datos ya existentes en el periodo de febrero del 2021. Las mismas se calcularon a través de una micro medición en los 28 días del mes, en donde se consiguió la cantidad total de metros cúbicos consumidos por la población del sector; para comunidades en las cuales no se contaba con la cantidad de población servida, se consideró en base al último censo realizado por el INEC en 2010 un estimado de 4 habitantes por medidor. La dotación fue obtenida en litros por habitante por día.

Tabla 1.3. Resumen de las dotaciones obtenidas de las PTARs

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>DOTACION</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Cementerio</b>	82	l/ hab*día
<b>Churuguzo</b>	104	l/ hab*día
<b>Cumbe</b>	115	l/ hab*día
<b>El Chorro</b>	106	l/ hab*día
<b>Escaleras</b>	115	l/ hab*día
<b>Macas</b>	89	l/ hab*día
<b>Molleturo</b>	145	l/ hab*día
<b>Monjas</b>	90	l/ hab*día
<b>Quilopungo</b>	168	l/ hab*día
<b>Quingeo</b>	89	l/ hab*día
<b>Santa Barbara</b>	82	l/ hab*día
<b>Acchayacu</b>	145	l/ hab*día
<b>Bella Unión</b>	82	l/ hab*día
<b>Guabo</b>	103	l/ hab*día
<b>Jatumpamba</b>	82	l/ hab*día
<b>Laureles</b>	82	l/ hab*día
<b>Octavio Cordero</b>	120	l/ hab*día

<b>San Pedro</b>	82	l/ hab*día
<b>Soldados</b>	120	l/ hab*día
<b>Tarqui</b>	116	l/ hab*día
<b>Tutupali</b>	172	l/ hab*día

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

#### 1.4 CÁLCULO HIDRÁULICO.

Para el cálculo hidráulico se utilizaron los datos obtenidos mediante AutoCAD, en donde se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Determinar las cotas de los pozos: se fija el pozo de revisión y se calculó la profundidad del mismo teniendo en cuenta las cotas y las profundidades mínimas del pozo.
- ✓ Determinar la longitud de los tramos: se medía la longitud de pozo a pozo.
- ✓ Determinar la pendiente de los tramos: por medio de la longitud y las cotas de cada pozo multiplicando por la longitud del mismo tramo.
- ✓ Determinar el caudal: se multiplica la población por la dotación, un coeficiente de retorno (0,815), un coeficiente de mayoración diario (1,40) y un coeficiente de mayoración horario (2,15), los cuales son coeficientes establecidos en el documento publicado por la Secretaría del Agua “*Código Ecuatoriano de la construcción de parte IX obras sanitarias*”; obteniendo así el caudal de cada tramo de alcantarillado.
- ✓ Caudal de infiltración: se añade un caudal de infiltración de 1 l/s/km con el cual trabaja ETAPA EP.
- ✓ Caudal ilícito: se añade un caudal ilícito, con el cual trabaja ETAPA EP, de 80 l/hab/día.
- ✓ Se continúa con la suma del caudal, el caudal de infiltración y el caudal ilícito; obteniendo así el Caudal Total de cada tramo de tubería sanitaria.
- ✓ Finalmente se determinan las velocidades con el método de Manning en donde se realiza un proceso iterativo en la hoja de cálculo de Excel, encontrando así las velocidades mínimas requeridas para cada tramo de tubería.

Tabla 1.4. Resumen de los caudales en litros/segundo para todas las PTARs desde el año 2015 hasta el año 2040

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	CERRADA	2,63	29,59	9,36	2,10	2,71	5,46	2,91	CERRADA	0,58	2,48	CERRADA	2,81	CERRADA	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		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: AUTORIA PROPIA.

## **CAPITULO 2. ESTIMACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS.**

Los procedimientos utilizados para la depuración de aguas residuales pueden variar de una PTAR a otra, sin embargo, todas siguen un proceso común, el cual consta de un tratamiento primario, donde se retira físicamente los sólidos; tratamiento secundario, en el que se remueven DBO<sub>5</sub> soluble y sólidos suspendidos; y por último un tratamiento terciario, en el que se retiran los nutrientes para prevenir la eutrofización en los cuerpos receptores (DE LA VEGA, 2012).

En cada una de estas fases existen estructuras que requieren de labores de mantenimiento recurrentes, las cuales se deberán tener en cuenta para estimar los costos operativos. Estas labores se detallan a continuación.

### **2.1 VARIABLES OPERATIVAS**

Como variables operativas se pueden encontrar las labores de mantenimiento, así como suplementos necesarios, para que las PTARs puedan seguir operando de manera correcta al pasar de los años. Los trabajos realizados son clasificados dependiendo del componente de la EDAR en la cual se los efectúa. Los componentes generalmente son: estructuras de ingreso, fosa séptica, filtro anaerobio, reactor anaerobio, humedal, mantenimiento de los accesos y también se toman en cuenta los muestreos recurrentes que se realizan.

#### **Estructuras de ingreso**

Las estructuras de ingreso (cámaras derivadoras, rejillas, desarenador, distribuidor de caudal, pozos internos) sirven principalmente para evitar que ingresen sólidos de gran tamaño, impide el paso de agua en periodos de mantenimiento o en casos de reparación, y para permitir que las partículas más pequeñas, como arenas, se asienten en el fondo. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2003). Es por esto que se debe estar limpiando recurrentemente las rejillas o depósitos ya que se van llenando de residuos. Estos residuos pueden ser luego quemados,

enterrados, tratados por digestión, expulsados a grandes cuerpos hídricos o triturados (GUAMÁN & MOLINA, 2015).

### **Fosa séptica**

La fosa séptica es una estructura horizontal de drenaje continuo, en el cual fluyen las aguas negras, para que los sólidos sedimentables se precipiten hasta el fondo del tanque, en donde se producirá la descomposición anaerobia. De esto resultará que, una cantidad de la materia orgánica en suspensión se transforme en gas y así poder reducir la cantidad de lodos a eliminar. Debido a que no todos los lodos pueden ser eliminados por este proceso es que se deberá limpiar la fosa (GUAMÁN & MOLINA, 2015).

La fosa séptica se deberá limpiar cuando los lodos formen una capa de 8 cm de espesor desde la parte más baja del deflector. Cuando el agua del afluente se presente turbia esto indicará que los límites antes mencionados han sido sobrepasados y, por lo tanto, el sistema no está funcionando de la mejor manera. Cada 3 o 6 meses se deberá realizar inspecciones de la caja de distribución para poder prevenir la presencia de sedimentos que afecten la distribución del agua residual. (CEPIS & OPS, 2005)

La limpieza de la fosa dependerá directamente del uso que se le dé, ya que, a mayor uso, se deberá limpiar más seguido. Por lo general, se recomienda limpiar anualmente. Para poder limpiarlo se esparce en la superficie cal hidratada y luego mezclarlo, este proceso es también conocido como mitigación alcalina. El tanque no debe quedar completamente libre de lodo, más bien se debe dejar una capa de aproximadamente 10 centímetros para que el proceso de hidrólisis de la nueva agua residual sea más sencillo. El residuo que resulte de esta labor deberá ser enterrado o secado para su tratamiento (GUAMÁN & MOLINA, 2015).

## **Filtro anaerobio**

El filtro anaerobio es un pozo, de flujo ascendente, que se encuentra relleno de diferentes materiales utilizados para tratar la materia orgánica carbonosa que se encuentre en el agua residual. Debido a que las bacterias anaerobias están adheridas al material de relleno, y no fluyen, se puede obtener tiempos de retención celular de alrededor de 100 días. Estos filtros son buenos para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente (METCALF & EDDY, 1995).

Para poder dar mantenimiento al filtro anaerobio se debe dejar ventilar por 15 minutos para proceder a inspeccionar el sistema de recolección de agua filtrada ya que suelen taponarse con el tiempo, esta debe ser limpiada con una varilla o pala cada mes. Luego se debe observar el efluente del filtro para detectar si existe turbiedad ya que esto podría evidenciar que se requiere una limpieza. Para realizar la limpieza, se abre la válvula de purga del filtro y limpiar superficialmente el empaque con agua a presión de abajo hacia arriba (PULLA & TAPIA, 2018).

## **Reactor anaerobio**

Se puede entender como reactor anaerobio a un sistema de un solo tanque de flujo ascendente, en donde un manto de lodo suspendido trata las aguas residuales al momento que la van atravesando. (TILLEY, y otros, 2018). El mantenimiento de este sistema va a requerir que el operador revise diariamente que las tuberías del reactor no se encuentren obstruidos por cuerpos de tamaño considerable, y en caso de encontrar alguno de estos, deben ser retirados de manera inmediata a través de una pala o rastrillo.

El reactor anaerobio de filtro ascendente debe ser purgado cuando se presente una salida excesiva de lodos en el afluente, ya que esto indicará que el RAFA ha llegado a su estado de saturación. Esta purga consiste en extraer los lodos mediante una bomba especializada para lodos, dejando una delgada capa de 15 a 20 cm para que se pueda generar una nueva colonia digestora (ESCALANTE et. al, 2000).



## **Humedal**

Los humedales artificiales son ecosistemas creados por el hombre, contruidos con plantas acuáticas, suelo y microorganismos necesarios para la depuración de aguas residuales (VYMAZAL & KRÖPFELOVÁ, 2008). Su funcionamiento se basa principalmente en la actividad bioquímica de microorganismos, la oxigenación de las plantas acuáticas durante el día y el aporte de un lecho inerte que sirve para el enraizamiento de los vegetales (DELGADILLO et. al, 2010).

Al ser considerado un ecosistema artificial, este sistema no necesita de un mantenimiento constante, pero se debe estar verificando que las aguas servidas al momento de llegar al humedal se distribuyan de manera correcta y uniforme sin que existan taponamientos en las tuberías de distribución. La poda de la vegetación se deberá realizar cuando las plantas hayan cumplido con su ciclo, esta labor se la puede realizar una o dos veces por año. Para precautelar la integridad de las plantas del humedal se requiere que se evite el crecimiento de vegetación invasora, esto puede ser por medio de herbicidas o poda manual (GONZALEZ & NARVAEZ, 2018).

## **Mantenimiento de acceso**

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. (AREVALO et. al, 2010)

A continuación, se muestra en resumen los sistemas que ocupan cada una de las PTAR descentralizadas de la ciudad de Cuenca.

Tabla 2.1. Sistemas de las PTARs descentralizadas a cargo de ETAPA EP

<b>NOMBRE DEL SISTEMA</b>	<b>TIPO DE SISTEMA</b>
<b>CEMENTERIO</b>	ED+FS+FA
<b>CHURUGUZO</b>	ED+FS+HA
<b>CUMBE</b>	FS+FA
<b>EL CHORRO</b>	FS+FA
<b>ESCALERAS</b>	ED+FS+FA
<b>MACAS</b>	FS+FA
<b>MOLLETURO</b>	ED+FA
<b>MONJAS</b>	ED+HA
<b>QUILLOPUNGO</b>	ED+RA+FA
<b>QUINGEO</b>	FS+FA
<b>SANTA BARBARA</b>	FS+FA
<b>ACCHAYACU</b>	FS+FA
<b>BELLA UNION</b>	ED+FS+FA
<b>GUABO</b>	ED+FS+FA
<b>LAURELES</b>	ED+FS+FA
<b>OCTAVIO CORDERO</b>	FS+HA
<b>SAN PEDRO</b>	ED+FS+FA
<b>SOLDADOS</b>	ED+FS+HA
<b>TARQUI</b>	ED+FS+HA
<b>TUTUPALI</b>	ED+FS+FA
<b>PILLACHIQUIR</b>	FS+FA
<b>SAN GABRIEL</b>	FS+FA

LEYENDA: ED: ESTRUCTURA DE DESBORDAMIENTO, FS: FOSA SÉPTICA, FA: FILTRO ANAEROBIO, HA: HUMEDAL ARTIFICIAL, RA: REACTOR ANAEROBIO

FUENTE: ETAPA EP

## Muestreo

En una PTAR siempre se deben realizar muestreos del agua tratada para verificar que se esté cumpliendo con la depuración de manera correcta, cumpliendo con las cargas permisibles que se pueden verter en los cuerpos receptores. Para esto, se requieren de envases limpios y en excelentes condiciones; con estos frascos se procede a tomar las muestras directamente del vertedero, y una vez obtenida la muestra se coloca en un recipiente con hielo que aisle la temperatura y la mantenga en un promedio de 4°C para prevenir alteraciones en sus propiedades físico-químicas.

Los parámetros que se examinan en el análisis físico-químico se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 2.2. Parámetros de muestreo

PARÁMETRO	UNIDAD
PH	
ALCALINIDAD	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
CLORUROS	mg/l, CaCO <sub>3</sub>
NITRATOS	mg/l
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/l
FÓSFORO REACTIVO	mg/l
DBO5	mg/l
DQO	mg/l
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l
SOLIDOS TOTALES	mg/l
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml

**COLIFORMES  
TERMOTOLERANTES**

NMP/100ml

FUENTE: (GUAMÁN & MOLINA, 2015)

Al momento de realizar el muestreo, el operador tendrá que llenar el siguiente formulario:

Tabla 2.3. Formulario de muestreo

<b>Hora 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 <math>\frac{3}{4}</math> (Muestra bacteriológicas) (SI/NO):</b>	
<b>Cerrado de envases inmediato (SI/NO):</b>	
<b>Etiquetado y guardado (SI/NO):</b>	
<b>Hora de entrega:</b>	

FUENTE: ETAPA EP.

## 2.2 CÁLCULO DE LOS COSTOS OPERATIVOS

En el presente trabajo se busca realizar un análisis comparativo entre los costos operativos con las eficiencias de las plantas de tratamiento de agua residual descentralizadas de Cuenca. Para lo cual se deben tener en cuenta las actividades operativas que se realizan para el funcionamiento de la planta, lo cual fue revisado en el numeral anterior. En este subcapítulo se indicarán los costos que representan estas actividades y el procedimiento que se realizó para poder obtener el costo por metro cúbico de agua tratada.

Primero, se registran todas las actividades que se realizan en las estructuras de ingreso, fosa séptica, filtro anaerobio, reactor anaerobio, humedal, los accesos a las

PTARs y los formularios de muestreo mostrados en la Tabla 2.3, según sea el caso. Por medio de estos registros, que son llenados en campo por los encargados de realizar el mantenimiento, se guarda la información en una hoja de cálculo de Microsoft Excel como se ve en la imagen 2.1 y 2.2. En esta tabla también se ingresa los equipos e insumos necesarios para el mantenimiento tales como el vehículo, bomba, cal, gasolina, envases y guantes.

Una vez registradas las labores, equipos e insumos, se requiere determinar el personal que se ve involucrado en cada mantenimiento. Esto se puede hacer por medio del vehículo que fue encargado de realizar la inspección, ya que a cada móvil pertenece una cuadrilla, como se ve en la imagen 2.3. Dependiendo de la cuadrilla se determina el costo por sueldo de trabajadores, considerando para cada visita un tiempo promedio de 2 horas de trabajo. Además, se considera el salario del ingeniero, su chofer y el precio del traslado de la cuadrilla.

En el siguiente paso, se saca el costo total del mantenimiento con la suma de estos tres componentes (Costo por personal, Costo por insumos, Costo por vehículo). Para poder sacar el costo de mantenimiento mensual se suma la media de cada uno de los componentes mencionados anteriormente de todas las visitas realizadas y se multiplica por el número de mantenimientos realizados en ese mes, como se muestra en la imagen 2.4.





Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Datos Estadísticos de personal													Costo Operativo Personal							Costo del personal por mantenimiento (\$)					
			movil 648	movil varios	movil 640	movil 903	movil 645	chofer cuadrilla	peon	albañil	inspector	auxiliares hidrocleaner	chofer hidrocleaner	ingeniero	chofer ingeniero	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago Mensual [\$]	Pago por día [\$]	Pago por hora [\$]	Tiempo invertido por trabajador [h]	Supervisor/chofer	Trabajadores	
																chofer cuadrilla	peon	albañil	inspector	auxiliares hidrocleaner	chofer hidrocleaner	ingeniero	chofer ingeniero					
14/1/2021	x	x		619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
21/1/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
15/2/2021	x	2 1												1	1						1587	975	0	0		2	\$ 14,56	\$ -
15/3/2021	x	1 0												1	1						1587	975	0	0		2	\$ 14,56	\$ -
15/4/2021	x	1 0												1	1						1587	975	0	0		2	\$ 14,56	\$ -
15/5/2021	x	1 0												1	1						1587	975	0	0		2	\$ 14,56	\$ -
4/6/2021	x	1 0		619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
8/7/2021	x	1 0		619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
25/8/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
13/8/2021	x	2 0	648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
21/9/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
16/9/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
6/9/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
7/9/2021	x	x		619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
8/9/2021	x	5 1	648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
15/10/2021	x	1 0												1	1						1587	975	0	0		2	\$ 14,56	\$ -
5/11/2021	x		648	619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
17/11/2021	x		648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
23/11/2021	x	3 0	648					1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05
22/12/2021	x	1 0		619				1	2	1				1	1	975	1750	975			1587	975	168,1818182	21,02272727		2	\$ 14,56	\$ 42,05

Imagen 2.3. Costo operativo del personal del año 2021 de la planta de San Pedro.



Fecha	Mantenimiento	Muestreo	Costo por Mantenimiento [ \$ ]				# Mantenimientos al Mes	TOTAL	
			MES	Costo por personal [ \$ ]	Costo por Insumos [ \$ ]	Costo por vehículo [ \$ ]			Subtotal
14/1/2021	x	x		\$ 56,60	\$ 280,96	\$ -	\$ 337,56		
21/1/2021	x			\$ 56,60	\$ 3,83	\$ 1,36	\$ 61,80		
	2	1	enero/2021	\$ 56,60	\$ 142,40	\$ 0,68	\$ 399,36	2	\$ 399,36
15/2/2021	x			\$ 14,56	\$ -	\$ -	\$ 14,56		
	1	0	febrero/2021	\$ 14,56	\$ -	\$ -	\$ 14,56	1	\$ 14,56
15/3/2021	x			\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82		
	1	0	marzo/2021	\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82	1	\$ 65,82
15/4/2021	x			\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82		
	1	0	abril/2021	\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82	1	\$ 65,82
15/5/2021	x			\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82		
	1	0	mayo/2021	\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82	1	\$ 65,82
4/6/2021	x			\$ 56,60	\$ 51,26	\$ -	\$ 107,86		
	1	0	junio/2021	\$ 56,60	\$ 51,26	\$ -	\$ 107,86	1	\$ 107,86
8/7/2021	x			\$ 56,60	\$ 55,09	\$ -	\$ 111,69		
	1	0	julio/2021	\$ 56,60	\$ 55,09	\$ -	\$ 111,69	1	\$ 111,69
25/8/2021	x			\$ 56,60	\$ 54,62	\$ 1,36	\$ 112,58		
13/8/2021	x			\$ 56,60	\$ 3,36	\$ 1,36	\$ 61,32		
	2	0	agosto/2021	\$ 56,60	\$ 28,99	\$ 1,36	\$ 173,91	2	\$ 173,91
21/9/2021	x			\$ 56,60	\$ 51,26	\$ 1,36	\$ 109,22		
16/9/2021	x			\$ 56,60	\$ 0,50	\$ 1,36	\$ 58,46		
6/9/2021	x			\$ 56,60	\$ 0,47	\$ 1,36	\$ 58,44		
7/9/2021	x	x		\$ 56,60	\$ 229,70	\$ -	\$ 286,30		
8/9/2021	x			\$ 56,60	\$ 3,83	\$ 1,36	\$ 61,80		
	5	1	septiembre/2021	\$ 56,60	\$ 57,15	\$ 1,09	\$ 574,22	5	\$ 574,22
15/10/2021	x			\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82		
	1	0	octubre/2021	\$ 14,56	\$ 51,26	\$ -	\$ 65,82	1	\$ 65,82
5/11/2021	x			\$ 56,60	\$ 55,09	\$ 1,36	\$ 113,06		
17/11/2021	x			\$ 56,60	\$ 3,36	\$ 1,36	\$ 61,32		
23/11/2021	x			\$ 56,60	\$ 0,50	\$ 1,36	\$ 58,46		
	3	0	noviembre/2021	\$ 56,60	\$ 19,65	\$ 1,36	\$ 232,84	3	\$ 232,84
22/12/2021	x			\$ 56,60	\$ 55,09	\$ -	\$ 111,69		
	1	0	diciembre/2021	\$ 56,60	\$ 55,09	\$ -	\$ 111,69	1	\$ 111,69

Imagen 2.4. Costos de mantenimiento mensual del año 2022 de la planta de San Pedro.

Por último, se necesita el costo del mantenimiento por año, para poder obtener este rubro se requiere sumar el costo incurrido en todos los meses y el número de meses en los cuales se han realizado mantenimientos. Entonces, se multiplica la sumatoria anual de los costos operativos por un factor de conversión, el cual se obtiene dividiendo los 12 meses del año para el número de meses en el cual se ha realizado al menos un mantenimiento. Con esto se obtiene el costo de operación de un año completo de las PTARs, como se puede ver en la siguiente imagen:

Fecha	PTARs	TOTAL	Month	Total Cost	Cost/year
Enero/2015	P S E A D N R O		9	\$ 2.107,23	\$ 2.809,64
Enero/2016			9	\$ 3.424,36	\$ 4.565,82
Enero/2017		\$ 327,77	12	\$ 5.152,94	\$ 5.152,94
Enero/2018		\$ 413,76	10	\$ 2.614,00	\$ 3.136,80
Enero/2019		\$ 336,96	12	\$ 3.220,88	\$ 3.220,88
Enero/2020		\$ 554,88	11	\$ 3.364,66	\$ 3.670,54
Enero/2021		\$ 399,36	12	\$ 1.989,40	\$ 1.989,40

Imagen 2.5. Costos de mantenimiento anual de la planta de San Pedro.

Con los costos operativos anuales y con los caudales obtenidos en el capítulo 1, se divide el costo anual para el caudal promedio de cada año y obtener el costo operativo por metro cubico de agua residual, el resumen de estos resultados se los puede observar en la tabla 2.4, donde se ve el costo en dólares por cada metro cúbico de agua tratada para las diferentes PTARs desde el año 2015 hasta 2021.

Fecha	PTARs	Discharge [l/s]	TOTAL	Month	Total Cost	Cost/year	Cost/m3
		Influente					
Enero/2015	P S E A D N R O	5,43		9	\$ 2.107,23	\$ 2.809,64	\$ 0,52
Enero/2016		5,44		9	\$ 3.424,36	\$ 4.565,82	\$ 0,84
Enero/2017		5,45	\$ 327,77	12	\$ 5.152,94	\$ 5.152,94	\$ 0,95
Enero/2018		5,46	\$ 413,76	10	\$ 2.614,00	\$ 3.136,80	\$ 0,57
Enero/2019		5,46	\$ 336,96	12	\$ 3.220,88	\$ 3.220,88	\$ 0,59
Enero/2020		5,46	\$ 554,88	11	\$ 3.364,66	\$ 3.670,54	\$ 0,67
Enero/2021		5,46	\$ 399,36	12	\$ 1.989,40	\$ 1.989,40	\$ 0,36

Imagen 2.6. Costos por metro cúbico de agua residual San Pedro.

Tabla 2.4. Costo anual por metro cúbico de las PTARs descentralizadas.

Costo anual por metro cúbico							
Sistema	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Achayacu	0,5	0,45	1,46	1,42	1,17	0,99	1,26
Cementerio	1,14	1,62	2,15	1,59	1,88	1,37	0,74
Escaleras	0,85	1,45	1,45	1,11	0,67	CERRADA	
Laureles	1,43	1,42	1,97	1,3	1,32	1,32	1,15
Octavio	0,05	0,05	0,08	0,11	0,16	0,13	0,19
Quillopungo	1,18	1,62	1,12	0,57	0,6	0,56	0,59
Quingeo	1,6	2,41	2,72	2,29	2,06	2,16	1,86
Tutupali	0,53	0,96	2,07	2,28	1,8	1,39	1,27
San Pedro	0,52	0,84	0,95	0,57	0,59	0,67	0,36
Bella Unión	0,33	0,9	1,66	1,74	1	1,23	0,76
Tarqui	0,39	1,18	0,89	0,72	0,19	CERRADA	
Macas	4,67	6,12	3,89	5,78	6,27	7,44	4,8
Guabo	0,59	1,16	1,41	1,17	1,11	1,15	1,24
El Chorro	0,85	0,85	2,77	1,81	0,75	0,75	1,96
Churuguzo	0,38	0,96	0,93	0,91	0,65	CERRADA	

## **CAPÍTULO 3. RENDIMIENTO DE LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Una eficiencia se entiende como la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función. El análisis realizado busca determinar qué tan eficiente son las plantas de tratamiento de las zonas rurales del cantón Cuenca; es decir, que tan favorable resultan las estaciones depuradoras de aguas residuales con su respectivo mantenimiento. Para ello se determinarán dos aspectos importantes, el primero es que características presentan estas aguas residuales y el segundo la eficiencia de cada PTAR.

### **3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS TRATADAS**

#### **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 (LOPEZ et. al, 2017).

#### **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 (LOPEZ et. al, 2017).

#### **Fosforo Total (PT)**

Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su determinación es necesaria en procesos de tratamientos de aguas residuales; la descarga de 1 g de fosforo, en un lago, puede permitir la formación de más de 100g de biomasa, la cual representa una DBO de 150g de oxígeno para su

oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimientos de fitoplancton (MUÑOZ, 2008).

### **Nitrógeno Orgánico (NOrg)**

Se usa para el levantamiento de los lodos, en donde los resultados se expresan en mg/l de nitrógeno – N. En muchas aguas se encuentran pequeñas cantidades de nitrógeno amoniacal en forma natural; otras veces porque se aplica junto con cloro para formar un residual de cloro combinado. Las aguas residuales domésticas crudas contienen del orden de 10 a 25 mg / l de nitrógeno amoniacal. Un incremento súbito del contenido normal de nitrógeno amoniacal en el agua implica la presencia de contaminación por aguas residuales y el correspondiente incremento en la demanda de cloro (MUÑOZ, 2008).

### **Sólidos sedimentales (SS)**

Son aquellos que se sedimentan luego de que la muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff por el lapso de una hora; los sólidos sedimentales forman parte de los componentes inorgánicos, los mismos que, biológicamente son utilizables para la absorción de la biomasa y esta a su vez se convierte o transforma a la forma gaseosa, estos gases escapan a la atmósfera (LOPEZ et. al, 2017).

### **Sólidos Totales (ST)**

Es la materia que se obtiene luego de que el agua ha sido sometida a evaporación. Pueden dividirse en función de su volatilidad ( $550\text{ C} + 50\text{ C}$ ), a estas temperaturas la fracción orgánica se oxidará y se convertirá en gas dando como resultado una fracción inorgánica en forma de ceniza (ONCE & RUIZ, 2014).

### **Sólidos Suspendidos (SST)**

La masa total de sólidos sedimentales en el reactor es la suma de las masas de sólidos de lodos. Esto debido a que toda materia orgánica

biodegradable del afluente se transforma en biomasa de OHOs. Conociendo la masa total en el reactor, el volumen del reactor se determina utilizando un valor específico para la concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado (LOPEZ et. al, 2017).

### **Coliformes Totales (CT)**

Los coliformes son bacilos cortos que se definen como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son el E. Coli y Enterobacter Aerogenes; no obstante, las especies que es posible que se ajusten a estos criterios, son más de veinte (GALVIS & RIVERA, 2013).

### **Coliformes Fecales (CF)**

Se determinan en laboratorios en donde se realizan siembras en medios nutritivos específicos y al pasar de un tiempo determinado se cuenta el número determinado de colonias formadas (técnica de filtro de membrana) o se observa el efecto de gas, consecuencia del proceso de fermentación de lactosa (técnica de flujo múltiple). Si no hay coliformes en el examen, se tiene la seguridad de que no existen gérmenes o contaminación de origen fecal (ONCE & RUIZ, 2014).

## **3.2 EFICIENCIAS DE LAS PTARs**

Para la obtención de la eficiencia de cada característica de cada planta de tratamiento se procedió a usar la siguiente ecuación, posteriormente se procede a analizar dichos resultados con la norma de legislación ambiental vigente, teniendo en cuenta los límites de descargas a un cuerpo de agua dulce presentada en el registro oficial del Ministerio del Ambiente (MAE).

$$Eficiencia = \frac{CargaContaminante de Entrada * 100}{CargaContaminante de Salida} - 100$$

Una vez obtenida la formula, se calcula y evalúa cada eficiencia. Se ha realizado una tabla global de todas las características a evaluar y plantas de tratamiento a analizar; estos resultados se presentan en porcentaje (Anexo 2).

Tabla 3.1. Eficiencias en porcentaje de las características de las PTARs del año 2021.

EFICIENCIAS 2021							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	32,93%	85,80%	78,20%	77,02%		100,00%	68,80%
CHURUGUZO	34,58%	96,76%	93,98%	93,72%		99,86%	93,35%
EL CHORRO	25,07%	95,78%	94,45%	76,30%	15,87%	100,00%	71,78%
MACAS	28,69%	66,12%	53,48%	70,50%	4,00%	99,81%	85,90%
MOLLETURO	10,88%	83,82%	81,98%	77,32%		92,00%	68,98%
MONJAS	28,36%	90,47%	77,57%	63,79%		99,75%	88,63%
QUILLOPUNGO	23,45%	68,35%	76,11%	66,38%	41,06%	99,93%	87,00%
QUINGEO	19,92%	88,98%	82,41%	72,74%		99,63%	89,52%
STA BARBARA	11,94%	51,26%	53,86%	52,08%	11,76%	100,00%	69,12%
ACCHAYACU	27,21%	74,04%	70,86%	78,82%	21,16%	100,00%	69,44%
BELLA UNION	22,63%	84,39%	80,16%	74,12%	68,00%	100,00%	65,91%
GUABO	14,97%	92,91%	94,50%	88,53%	41,28%	99,52%	78,49%
LAURELES	23,92%	72,82%	64,28%	52,58%	34,83%	97,78%	86,42%
OCTAVIO CORDERO	36,41%	91,64%	91,44%	78,56%		100,00%	95,96%
SAN PEDRO	37,67%	61,18%	53,76%	51,52%	30,30%	100,00%	66,88%
SOLDADOS	45,38%	95,99%	96,12%	75,39%		99,52%	99,26%
TUTUPALI	27,17%	77,34%	81,93%	63,38%	12,96%	99,60%	71,55%
CHAUCHA	47,98%	97,68%	97,02%	80,11%	52,46%	99,95%	58,88%
PILLACHIQUIR	44,37%	90,23%	86,38%	70,00%	63,93%	93,78%	89,26%

FUENTE: ETAPA EP

- Como resultados se obtienen los porcentajes de las distintas eficiencias de las características para el tratamiento de aguas residuales comparando del año base 2015 al año actual 2021; empezando con el DBO:

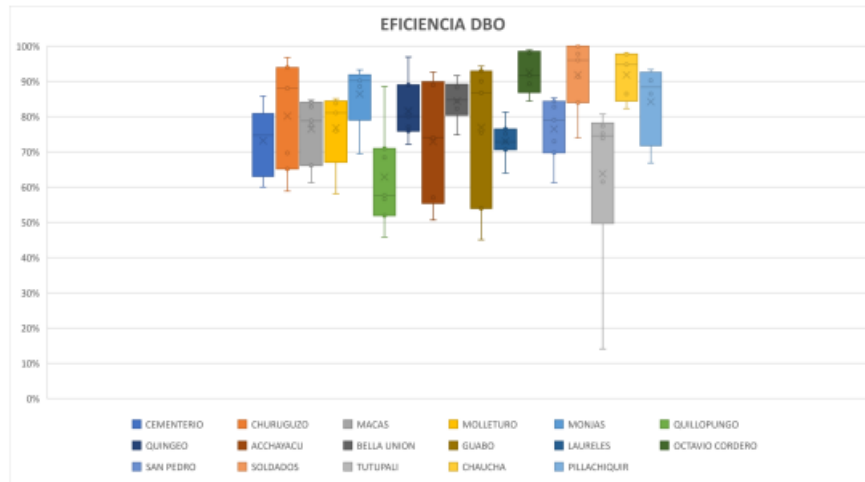


Imagen 3.1. Eficiencia de DBO de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

Claramente se puede observar que la mayoría de las plantas de tratamiento tienen una eficiencia buena o muy buena para el DBO, sin embargo, Quillopungo es la planta de tratamiento con menos eficiencia en esta característica; lo más óptimo será analizar y erradicar los inconvenientes que presente dicha PTAR.

- Continuando con el DQO:

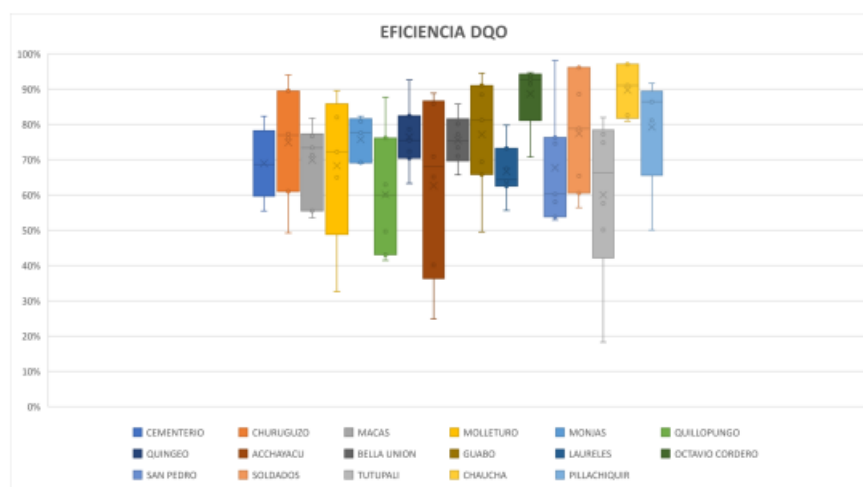


Imagen 3.2. Eficiencia de DQO de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos



Para esta característica Laureles es la planta de tratamiento con la menor eficiencia en la característica de DQO. Importante aquí analizar el tratamiento que se le está dando ya que puede ser que la planta presente aguas residuales poco contaminadas; por lo que, no es tan complejo el tratamiento de la misma.

- Seguimos con los sólidos sedimentales como una de las características principales para un tratamiento de agua residual:

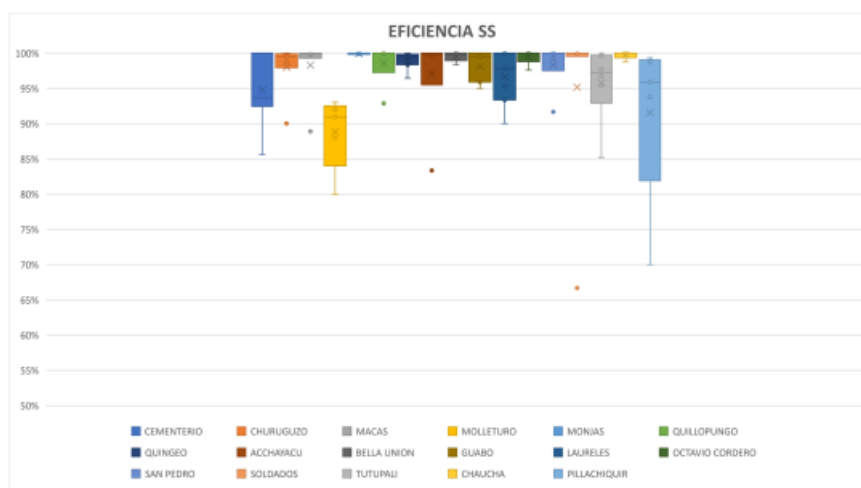


Imagen 3.3. Eficiencia de SS de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

Obteniendo en su gran mayoría que todas las plantas de tratamiento cumplen el 100 % en eficiencia de sólidos sedimentables, Molleturo es la PTAR menos eficiente en esta característica.

- La eficiencia de conductividad presenta las siguientes graficas en donde:

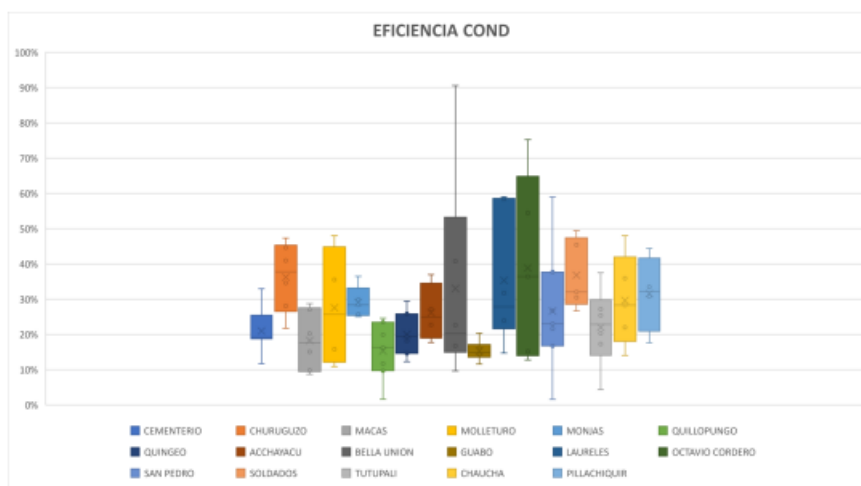


Imagen 3.4. Eficiencia de conductividad de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

Se puede analizar que todas las PTARs tienen baja eficiencia de conductividad, sin embargo, Octavio Cordero es la planta de tratamiento que cumple con la eficiencia más elevada con un 64%.

- De igual manera tenemos las eficiencias graficas de los Coliformes Totales:

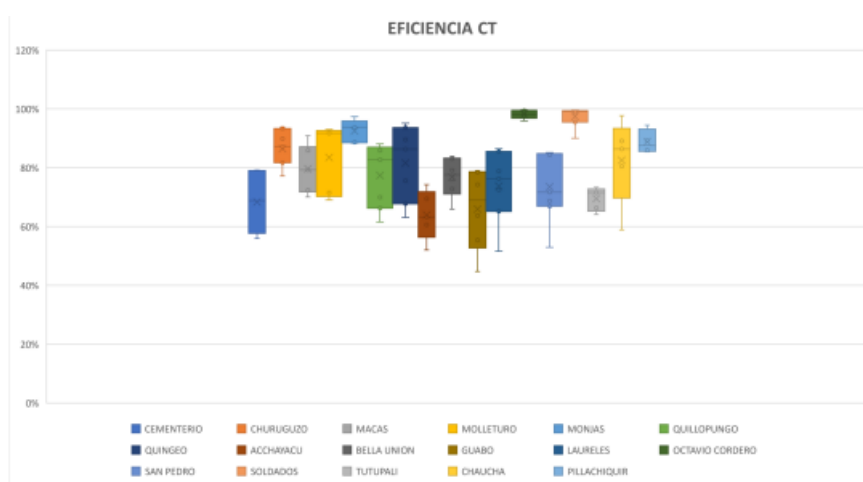


Imagen 3.5. Eficiencia de CT de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

Guabo empieza en sus primeros años con una eficiencia baja, sin embargo, para el presente año cumple con la eficiencia y deja en último a

Acchayacu como la planta de tratamiento menos eficiente en Coliformes Totales.

- Igualmente, como una característica importante en el tratamiento de aguas residuales se presenta el Nitrógeno Orgánico:

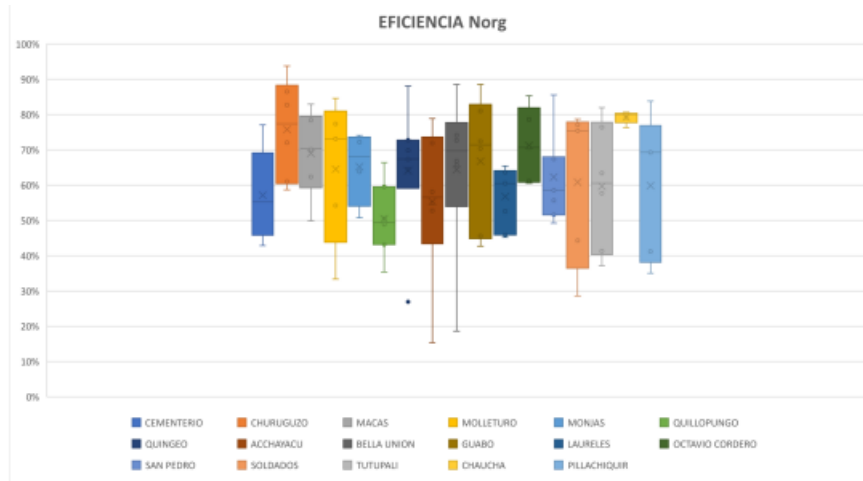


Imagen 3.6. Eficiencia de Nitrógeno orgánico de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

En esta característica se puede intuir que todas las plantas de tratamiento son eficientes, no obstante, dos a tres EDARs podrían tener mejores resultados.

- Por último, se tiene el Oxígeno Disuelto:

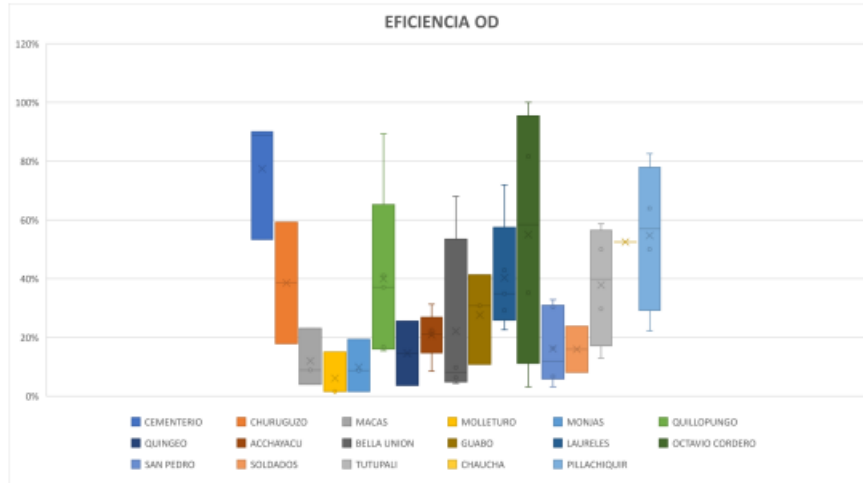


Imagen 3.7. Eficiencia de Oxígeno disuelto de las PTARs en el periodo 2015-2021

ELABORACION: Emilio Peñafiel y Josué Gallegos

Claramente se observa que la única planta de tratamiento que tiene una eficiencia aceptable en el Oxígeno Disuelto es Cementerio; las plantas restantes cuentan con una eficiencia muy baja para esta característica, lo que se recomienda tomar acciones correctivas.

## CAPITULO 4. PROYECCIONES Y CONTRASTES CON PROYECTOS ANTERIORES.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales siempre deben de ser planificadas para servir a la población futura, debido al trabajo e inversión que representa construir una estructura de depuración de aguas servidas. Es por eso que, en este trabajo, se realizaron proyecciones hasta el año 2040, en donde los costos variarán según cambie la población y caudal servidos. Se supondrá que se mantendrán realizando las mismas labores de mantenimiento. Además, es posible estimar los costos con mayor seguridad ya que Ecuador no presenta índices de inflación muy considerables, al ser un país dolarizado.

### 4.1 PROYECCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS

Para realizar las proyecciones de los costos operativos se parte de la estimación futura de las dos variables necesarias para obtener el costo por metro cúbico. La primera variable es el costo anual de tratamiento y mantenimiento, la cual es directamente proporcional al número de visitas que se den a cada estación depuradora de aguas residuales; y la segunda variable que es el caudal anual, el cual depende del crecimiento poblacional que tenga el sector en el cual está emplazada la planta de tratamiento. Se utilizó regresiones lineales (Anexo 3) para poder determinar la tendencia de cada PTAR y así determinar los costos anuales a futuro.

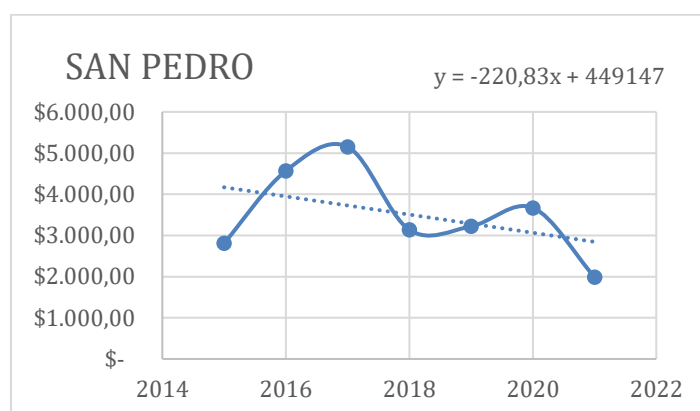


Imagen 4.1. Regresión lineal de los costos operativos anuales de la planta de San Pedro.

Una vez obtenida la ecuación de la línea de tendencia, se procede a calcular los costos operativos anuales hasta el año 2040, siendo los años la variable  $x$  y el costo la variable  $y$ . Realizando estos cálculos para todas las plantas de tratamiento se obtiene la tabla A6.1, en la cual el color rojo significa un costo alto y el color verde un costo bajo.

Luego se procede a dividir cada uno de los costos anuales proyectados para los caudales proyectados para cada año correspondientemente y así obtener la tabla A6.2, que presenta los costos por metro cúbico de agua tratada. Por medio de la escala de colores mostradas en las tablas A6.1 y A6.2, se puede observar cuales son las plantas de tratamiento que a lo largo del tiempo tienen tendencia a incrementar su costo y cuáles son las que tienen tendencia a reducirlos.

#### **4.2 RESULTADOS DE ESTUDIOS ANTERIORES.**

Yunga, (2019) indica que los costos operativos promedios para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 para las PTARs descentralizadas son los que se muestran en la tabla 4.1.

#### **4.3 COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIOS ANTERIORES VS LOS ACTUALES.**

En el trabajo de Yunga, (2019) se analizaron los costos operacionales con una temática más enfocada hacia la sostenibilidad de las plantas de tratamiento. Para el trabajo actual se tomó como punto de partida esta investigación, pero llevándole hacia otra perspectiva que es la eficiencia de estos sistemas. En el trabajo actual se involucraron ciertos aspectos que se detallan a continuación:

##### **Dotación**

La dotación utilizada en estudios anteriores era un valor estándar de 220 l/hab/día. En cambio, en el trabajo actual se utilizó una dotación determinada a través de los medidores y consumo que se registra en cada uno de estos para los sectores en los cuales las EDARs funcionan. Esto permite tener una dotación más cercana a la realidad de cada parroquia.

##### **Densidad poblacional**

La densidad poblacional utilizada para el desarrollo de este trabajo fue información obtenida en ETAPA EP, lo que diferencia este trabajo de trabajos anteriores es que aproximamos la densidad poblacional para el área de aporte de cada tramo de tubería que llega a la PTAR, esto permite tener un valor más real de cuál es el número de usuarios actuales y en años posteriores. Al tener este valor más real y una dotación propia para cada sector se tendrá un mejor caudal de descarga sobre el cual trabajar.

### **Cálculo hidráulico**

En el presente trabajo se realizó un cálculo hidráulico, este cálculo se lo realizó con la espera de datos más reales debido a que la información de entrada como la dotación, densidad poblacional y áreas de aporte fueron determinadas con datos proporcionados por ETAPA EP. Cada uno de estos datos era exclusivo para cada planta de tratamiento por lo que los resultados obtenidos van a ser reflejar una mayor aproximación a lo que sucede en cada estructura de saneamiento.

### **Costo de la poda**

Se ha incluido para estimar los costos operativos el costo que genera la poda de la vegetación en las PTARs, se ha llevado un registro de las veces que se han tenido que hacer visitas exclusivamente esta tarea y desde el año 2015 al 2020 se lo hacía alternando un mes si y un mes no, pero en el año 2021 se ha visto necesario que estas labores de mantenimiento se la realicen una vez cada mes debido a que ha sido un año lluvioso en el cual la vegetación crecía más rápido.

### **Incremento de sueldos de los trabajadores**

Algo que es muy importante para estimar los costos de operativos de las plantas de tratamiento es el desembolso que se hace a los trabajadores todos los meses. En estudios anteriores, esta variable se mantenía constante al pasar los años. Sin embargo, en el presente se ha visto necesario implementar este porcentaje adicional que por lo general es un incremento de 25 dólares anual según la tabla de salarios del personal de ETAPA EP.

### **Diferente método de proyección**

En el trabajo realizado por Yunga se proyectó el número de mantenimientos que se realizarán en un futuro y se los multiplicó por el costo promedio de un mantenimiento ordinario, a diferencia del trabajo desarrollado en el que se proyectaron los costos anuales, población y caudales hasta el año 2040 para así determinar cuánto será el costo por metro cúbico de agua tratada en próximos años en base a estas tres variables.

### **Diferencia de resultados**

Se realizará la comparación de las PTARs más importantes para los años 2015-2019, en el trabajo actual se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Costos anuales por metro cúbico de las plantas de tratamiento.

COSTO ANUAL POR METRO CÚBICO										
Sistema	2015		2016		2017		2018		2019	
	YUNGA	ACTUAL	YUNGA	ACTUAL	YUNGA	ACTUAL	YUNGA	ACTUAL	YUNGA	ACTUAL
Acchayacu	0,92	0,5	0,92	0,45	0,92	1,46	1,51	1,42	1,51	1,17
Cementerio	17,85	1,14	17,85	1,62	17,85	2,15	6,11	1,59	6,11	1,88
Escaleras	4,7	0,85	4,7	1,45	4,7	1,45	4,80	1,11	4,80	0,67
Laureles	32,98	1,43	32,98	1,42	32,98	1,97	26,46	1,30	26,46	1,32
Octavio	2,05	0,05	2,05	0,05	2,05	0,08	1,39	0,11	1,39	0,16
Quillopungo	5,7	1,18	5,7	1,62	5,7	1,12	2,75	0,57	2,75	0,60
Quingeo	6,7	1,6	6,7	2,41	6,7	2,72	8,72	2,29	8,72	2,06
Tutupali	3,25	0,53	3,25	0,96	3,25	2,07	2,91	2,28	2,91	1,80
San Pedro	15,42	0,52	15,42	0,84	15,42	0,95	15,42	0,57	15,42	0,59
Bella Unión	12,65	0,33	12,65	0,9	12,65	1,66	12,65	1,74	12,65	1,00
Tarqui	4,89	0,39	4,89	1,18	4,89	0,89	4,89	0,72	4,89	0,19
Macas	22,44	4,67	22,44	6,12	22,44	3,89	22,44	5,78	22,44	6,27
Guabo	6,62	0,59	6,62	1,16	6,62	1,41	6,62	1,17	6,62	1,11
El Chorro	0,28	0,85	0,28	0,85	0,28	2,77	0,28	1,81	0,28	0,75
Churuguzo	1,06	0,38	1,06	0,96	1,06	0,93	1,06	0,91	1,06	0,65

Estos resultados se pueden comparar de una mejor manera a través de la imagen 4.2, en el cual se observa la diferencia en los costos al trabajar con mejor información de entrada.





Imagen 4.2. Costos obtenidos por Yunga vs costos obtenidos por los autores.

Se puede ver la gran diferencia que existe entre los resultados obtenidos anteriormente en comparación con los resultados obtenidos en este trabajo, a pesar de haber introducido costos adicionales como el de poda e incrementos salariales. La diferencia más grande que se ve es en la planta de Laureles en el año 2015, en el cual paso de 32.98 \$/m<sup>3</sup> a 1.43 \$/m<sup>3</sup>. Es aquí donde se puede ver la importancia de trabajar con datos reales de cada parroquia, ya que cada una de sus respectivas plantas fueron diseñadas para trabajar con un caudal exclusivo de la zona. Es así, que al mejorar la información de entrada se obtuvieron costos más coherentes con los gastos que se manejan en ETAPA EP.

Estos costos en el trabajo de Arleth Yunga, son producto de haber empezado un trabajo suponiendo variables que en un inicio no fueron cuantificadas y se tomaron valores estándar. Además, en la fecha en la cual se estuvo desarrollando su tesis no se dejaba que las estructuras de depuración hagan todo el trabajo, se realizaban visitas de mantenimiento todas las semanas sin que sean necesarios dichas labores y todo esto provocaba que los costos aumenten de manera considerable sin generar un impacto positivo para que las eficiencias mejoren.

#### **4.4 RESULTADOS DE UN MAYOR CONTROL EN LA GESTIÓN DE RECURSOS.**

Antes de no tener una planificación de mantenimiento y seguimiento para las PTARs descentralizadas de ETAPA EP, los costos eran altos y se iban a mantener en aumento sin generar una mejora significativa a las eficiencias. Es por esto, que se propuso optimizar los recursos que fuesen suficientes para que las plantas de tratamiento cumplan correctamente con su trabajo y al pasar de los años se ha podido ver los resultados de esta gestión de mantenimientos e implementación de registro de costos (Anexo 4). Un ejemplo gráfico de estos resultados se puede ver en la imagen 4.3.

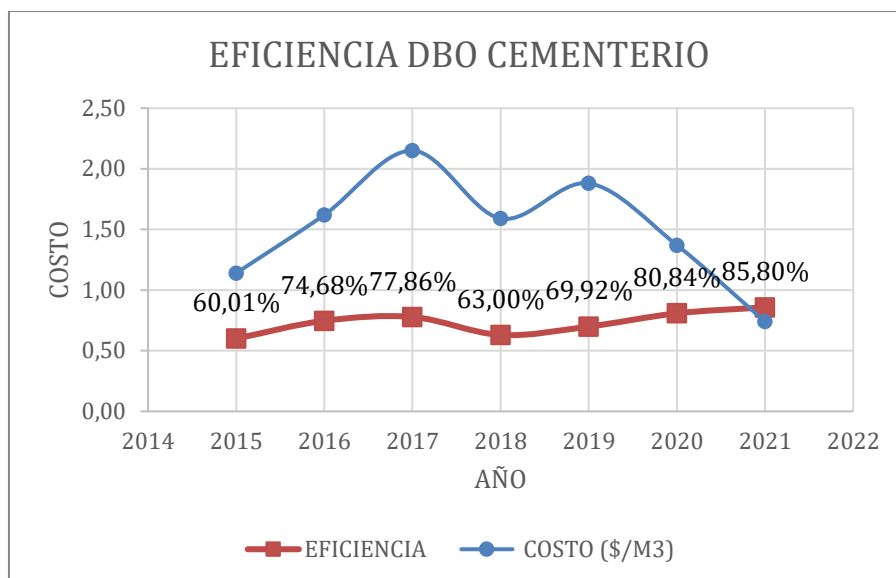


Imagen 4.3. Costos operativos comparados con las eficiencias de DBO de la planta Cementerio a lo largo del tiempo.

En la imagen 4.3, se analiza para el año 2015, el costo operativo de la estación depuradora de agua residual está alrededor de 1.10 dólares por metro cúbico, mientras que la eficiencia para ese mismo año también es la más baja con un 60,01%, esto lo que demuestra es un bajo costo operativo generara eficiencias bajas. Para el año 2017 se presenta un pico en el costo operativo llegando cerca de 2.20 dólares por metro cúbico de agua tratada, en las eficiencias sucede algo similar y se alcanza el valor más alto que los dos años anteriores con una eficiencia de 77,86%.

A partir del año 2018 se empieza a ver el resultado de la gestión de recursos, donde la eficiencia comienza a subir y pierde proporcionalidad con la curva de costos, más bien, se convierte en inversamente proporcional ya que la eficiencia empieza a subir mientras que los costos empiezan a bajar, llegando así al año 2022, donde se alcanza el costo más bajo de los últimos 6 años con un coste alrededor de 0,75 dólares por metro cúbico de agua tratada y también se consigue una eficiencia récord, alcanzando un 85,80%. Es por este tipo de comportamientos en las curvas que se evidencia una clara optimización en la asignación de los recursos.

Una vez que ya se analizó la capacidad de las plantas de tratar las aguas residuales en relación a la variación en el tiempo de los costos (Anexo 5), se enfocará el análisis con más profundidad a las eficiencias. A continuación, se realizará el análisis de la variación de las eficiencias de las PTARs más representativas.

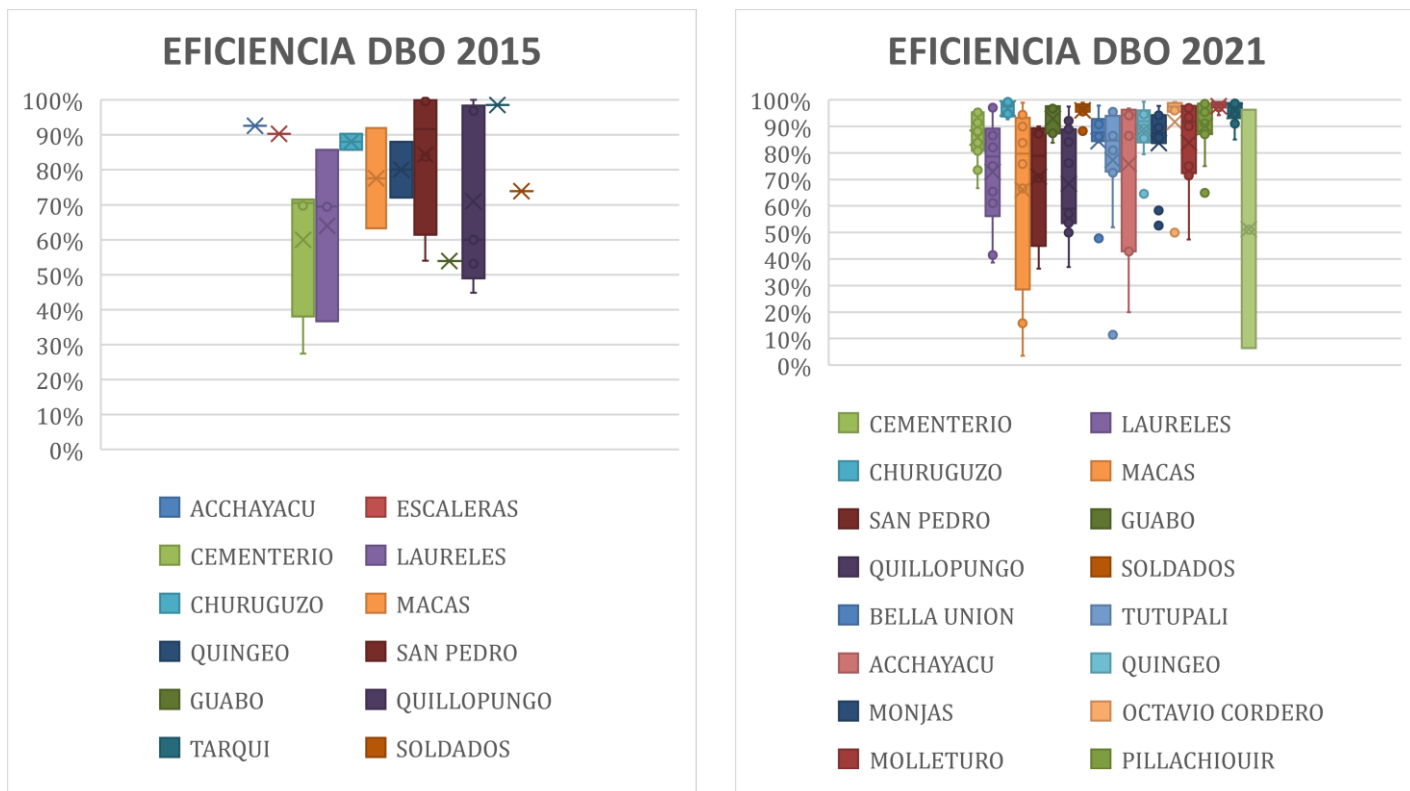


Imagen 4.4. Eficiencias DBO de las plantas año 2015-2021.

Se puede observar mejoras en ciertas plantas, como es el caso de la planta de cementerio, donde su promedio de eficiencia paso de 60% a cerca del 85% lo que representar una mejora del 25% de su eficiencia en 6 años. Sin embargo, en plantas como Quillopungo se ha visto disminuida la eficiencia, pero no en cantidades significativas, estas reducciones están alrededor de un 5% de su eficiencia, lo cual no genera mayor preocupación.

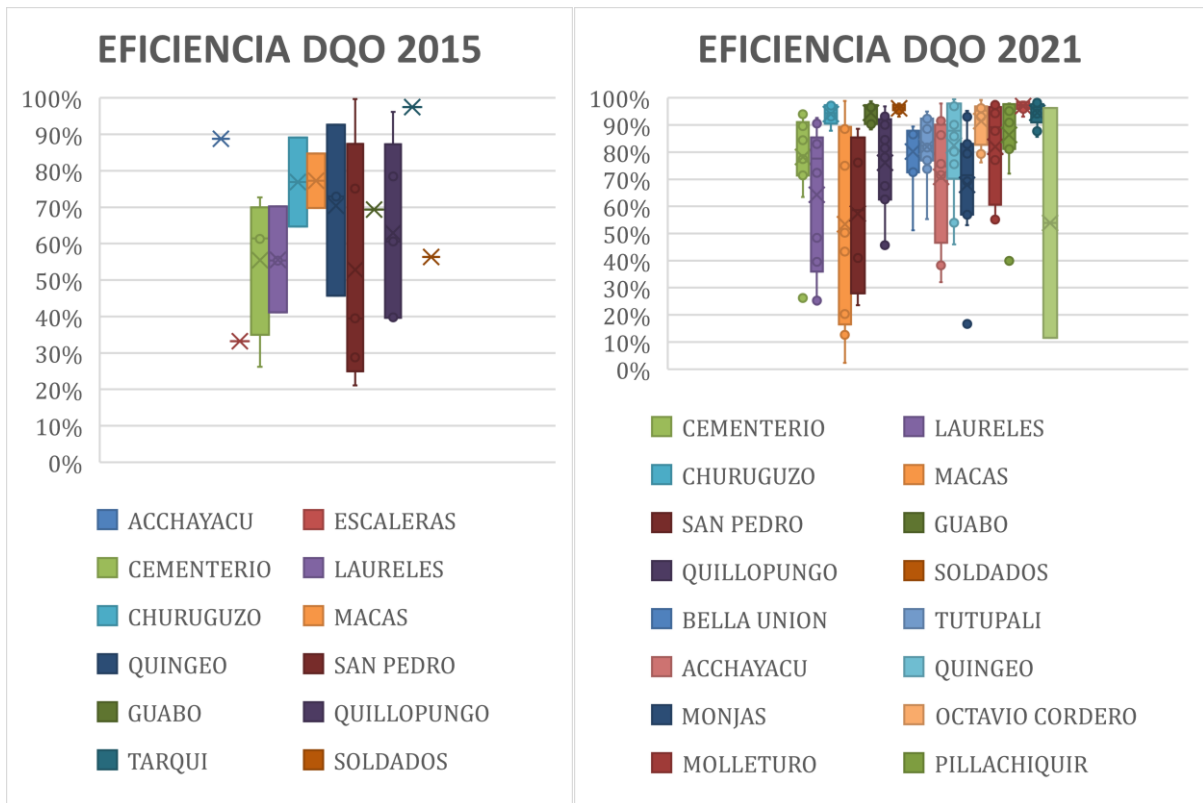


Imagen 4.5. Eficiencias DQO de las plantas año 2015-2021.

Como se puede ver después de 5 años se registran las propiedades físicas y químicas de más plantas de tratamiento, lo que indica que se está llevando un mayor control de lo que sucede en cada sistema. Ahora bien, lo que se rescata de la imagen 4.5 es el notorio aumento en la eficiencia de la planta de Cementerio que paso de un 55% a un valor muy cercano a 80%, dando como resultado un aumento de 25% en su capacidad de tratar la DQO. La mayoría de PTARs han tenido una mejoría en sus eficiencias a excepción de Macas en el cual su promedio bajo, pero se le puede dar una explicación a esto; la razón de esta disminución de la eficiencia en la planta de Macas es que existen más registros de las características químicas de las aguas tratadas, por lo que se tienen más datos, alguno de ellos sumamente bajos que provoca que el promedio de eficiencia disminuya.

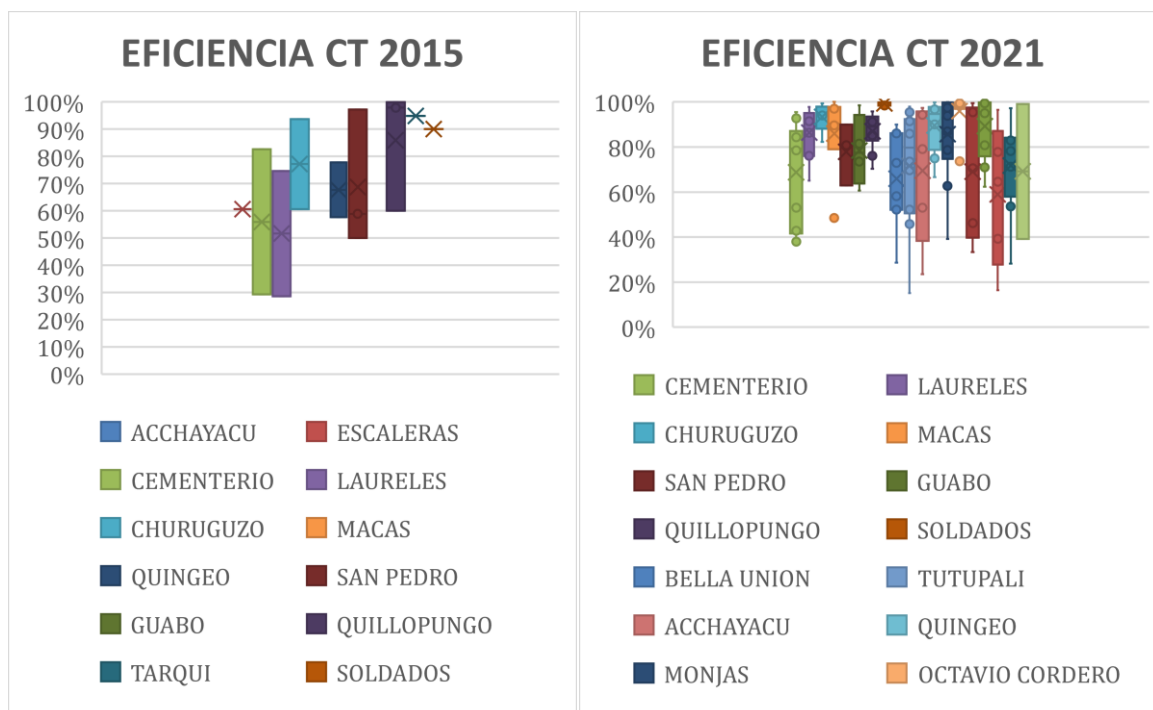


Imagen 4.6. Eficiencias CT de las plantas año 2015-2021.

Es notorio en la imagen 4.6, el incremento de registros de coliformes totales en las aguas tratadas, al tener un mayor control se puede contar con mejor material para analizar. Las eficiencias con respecto al tratamiento de coliformes totales también han mejorado al pasar 6 años de registros. Se puede ver el caso de la planta de Cementerio, en donde la eficiencia ha mejorado notoriamente pasando de un 56% de efectividad a un 70%. Esto junto a otras plantas como Churuguzo en donde su promedio no ha visto un gran aumento, pero en su boxplot se puede observar como el primer cuartil ascendió en la escala del eje y, esto quiere decir que los datos que se toman en esta planta cada vez son más constantes y cercanas al promedio.

La planta de Laureles también es una planta la cual se ha visto beneficiada notablemente en la eficiencia de CT. Algo a destacar en este increíble ascenso en las eficiencias es que en el año de 2015 se registraban un promedio de 5 visitas al mes, lo que quiere decir que se realizaban mantenimientos más de una vez por semana; para el año 2021 se llegó a realizar un mantenimiento mínimo necesario para que esta planta trabaje bien, por lo que se registró un promedio de 2 mantenimientos al mes. Con esto se puede decir que sus visitas de mantenimiento se redujeron en un 60% y su efectividad paso de 50% al 88%.

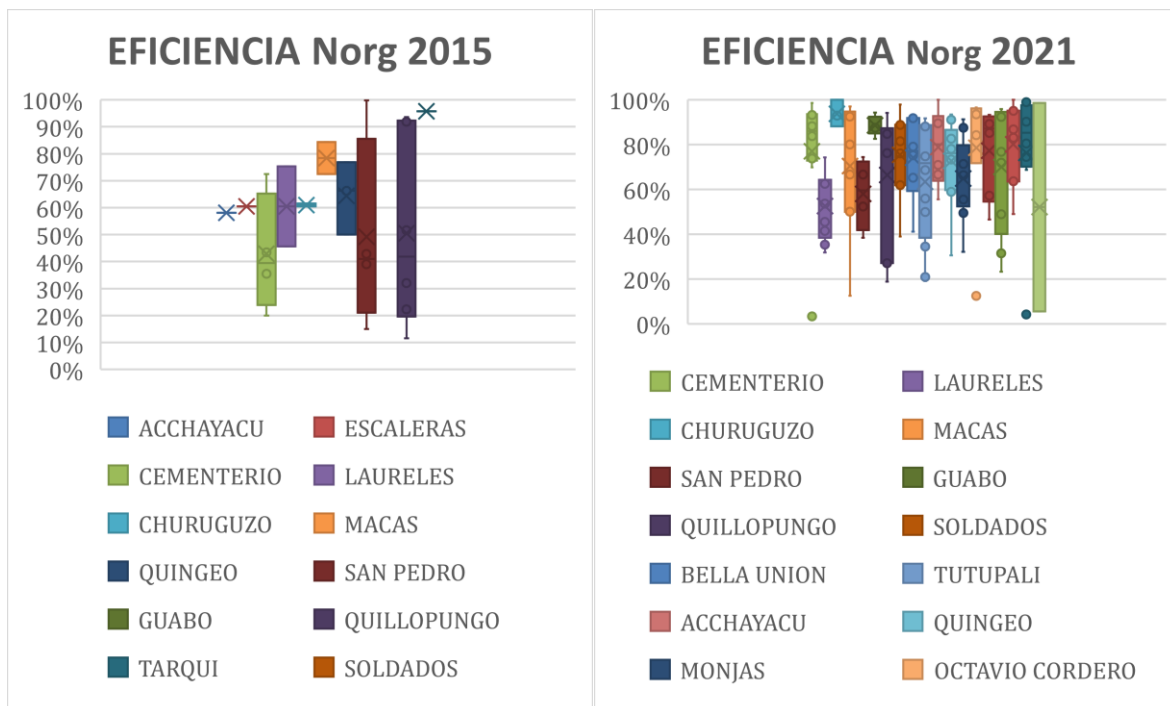


Imagen 4.7. Eficiencias Norg de las plantas año 2015-2021.

En la imagen 4.7, se ve las eficiencias que han tenido las plantas de aguas residuales para remover el nitrógeno orgánico. En 2015 se puede observar que en general las eficiencias para remover estas cargas son bajas, alrededor del 60%. En el año 2021 se puede ver como la mayoría de plantas cuentan con una eficiencia superior a 65%, algunas de ellas tienen saltos muy grandes como las plantas de Cementerio y Churuguzo. Otras plantas como la de San Pedro en cambio, cuenta con sus datos menos dispersos ya que se ven como sus cuartiles se encuentran más cercanos y por último el caso de Macas, cuyo promedio ha disminuido, pero dentro de su boxplot se puede observar que existen valores que superan al valor promedio en 2015, sin embargo, también se tienen valores muy bajos que hacen que este promedio baje.





tratamiento no se ha visto el impacto de una correcta gestión de recursos ya que sus efectividades siempre han estado respondiendo de una manera adecuada.

### Comparación entre plantas de tratamiento de aguas residuales con tratamiento secundario de tipo humedal horizontal

Es importante realizar un análisis diferenciando a las plantas de tratamiento que trabajan con filtros anaerobios de las plantas que trabajan con humedal. A continuación, se muestra la imagen 4.10 en donde se puede observar el análisis fisicoquímico de las eficiencias alcanzadas en el periodo 2020-2021 de las plantas tipo humedal.

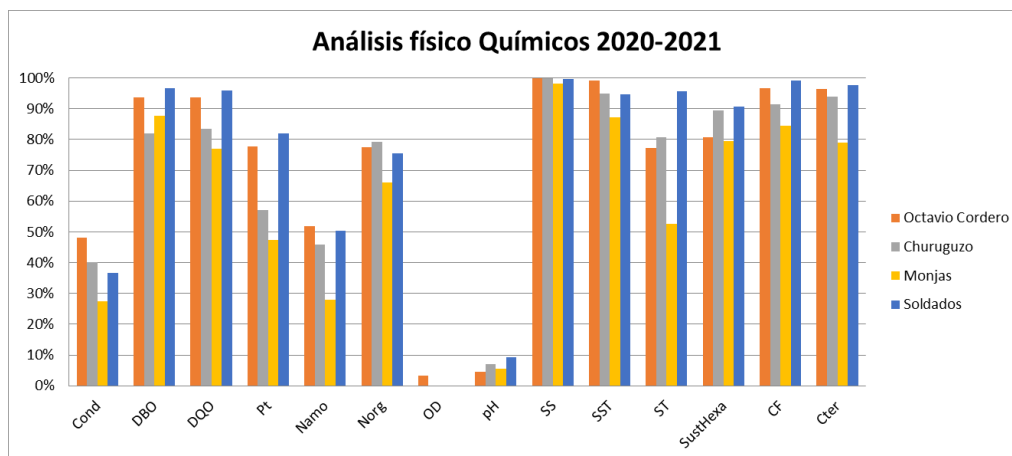


Imagen 4.10. Eficiencias de PTARs con tratamiento secundario tipo humedal horizontal 2021. Fuente: ETAPA EP

Se puede observar como la altura en la que funcionan estas plantas de tratamiento afectan a sus eficiencias, como es el caso de Monjas, esta planta es la que se encuentra a mayor altura (2880 m.s.n.m.) y a su vez es la que tiene el rendimiento más bajo de un 63%, seguido de la planta de Octavio Cordero que se encuentra a una altura de 2735 metros sobre el nivel del mar y cuya eficiencia promedio es de 71%. En tercer lugar, se tiene al humedal de Churuguzo que se encuentra a 2583 m.s.n.m. y tiene el segundo mejor promedio de eficiencia con un 73%. Por último, se tiene a la planta de Soldados que tiene la cota más baja (2267 m.s.n.m.) y a su vez el rendimiento más alto entre todas las plantas de tipo humedal con un 79% de eficiencia promedio. Con esto podemos decir que la eficiencia alcanzable es inversamente proporcional a la altura a la cual está emplazada la PTAR, a mayor altura menor eficiencia.

## Comparación entre plantas de tratamiento de aguas residuales con tratamiento secundario de tipo filtro anaerobio

A continuación, se muestra la imagen 4.11, en donde se puede ver las eficiencias promedio que han tenido las plantas tipo filtro en el 2021 en comparación a las a

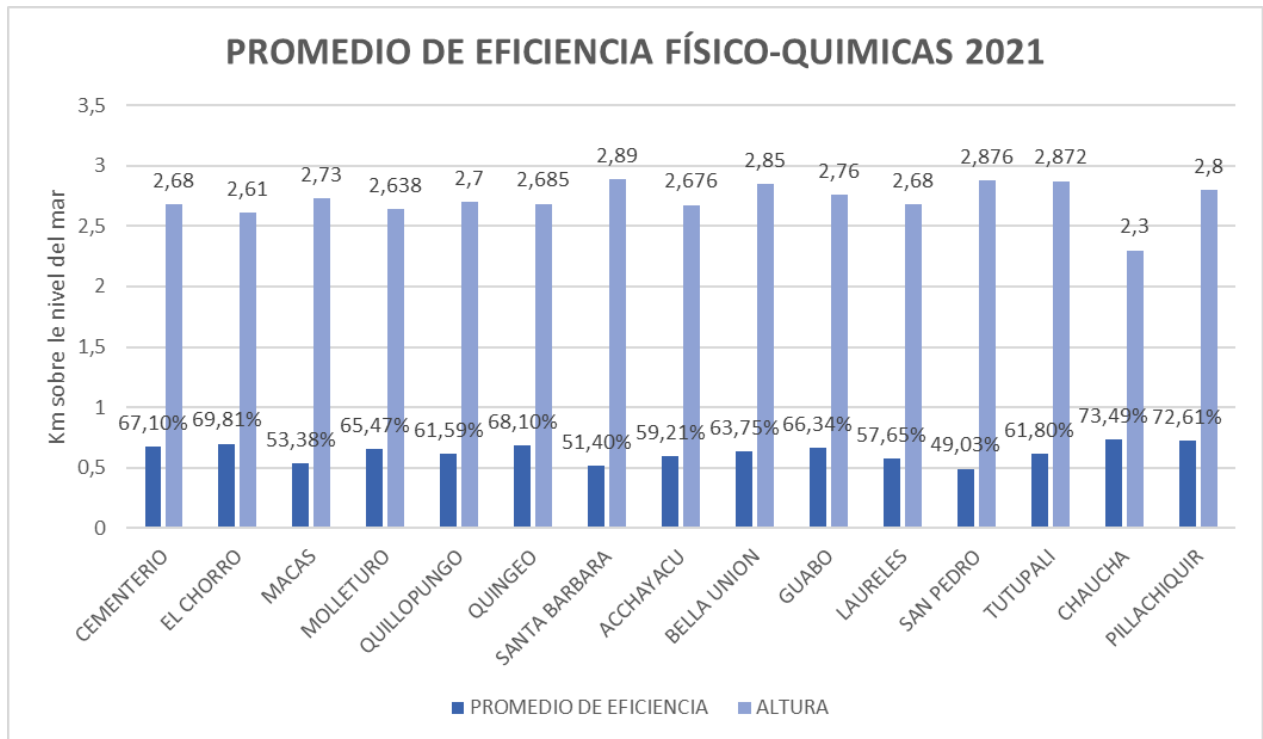


Imagen 4.11. Eficiencias de PTARs con tratamiento secundario de tipo filtro anaerobio 2021. Fuente: ETAPA EP

Al igual que en las plantas con humedales, se puede ver una relación entre la cota en la cual trabaja la estación depuradora de agua residual y las eficiencias promedio que tienen. En los extremos se tiene a la planta de Santa Barbara que está a una altura de 2890 metros sobre el nivel del mar, esta es la planta tipo filtro del análisis que se encuentra a mayor altura, y se puede ver que también es la planta que tiene el promedio más bajo con un 51,40%. Al otro extremo esta la planta de Chaucha, que es la PTAR de menor altura a tan solo 2300 metros sobre el nivel del mar, está a la vez es la que tiene la eficiencia promedio más alta de todas con un 73,49% de eficiencia en el año 2021. En el resto de las PTARs se pueden observar que están emplazadas en cotas parecidas, alrededor de los 2600-2700 metros sobre el nivel del mar y sus eficiencias son parecidas entre sí.

Este gráfico va de acuerdo con lo publicado por Romero (2004) en su libro Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño, en donde indica que la principal desventaja que tienen los filtros anaerobios es que para obtener grados altos de tratamiento requiere

temperaturas altas, es por esto que a mayor altura la temperatura es más baja y por lo tanto las eficiencias también se verán disminuidas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de este trabajo se partió de un estudio realizado previamente por Yunga (2019), en el cual la información base utilizada tenía gran incertidumbre. Para poder conseguir esta información se realizaron cálculos hidráulicos para todas las plantas de tratamiento, con el fin de determinar con mayor exactitud el caudal que llega a cada PTAR. Para la determinación de los costos de mantenimiento y operación se procedió a actualizar valores e incluir labores recurrentes que no se veían involucrados en estudios anteriores. Con estos datos se realizó el respectivo análisis que arrojaron los resultados mencionados en el capítulo anterior, sobre los cuales podemos concluir que:

- El uso de datos obtenidos mediante el cálculo de los caudales a través de la modelación de las redes de alcantarillado, la determinación e implementación de las variables operativas ignoradas en anteriores estudios y al tener un mayor tiempo de control de tareas de mantenimiento de las PTARs, los costos operativos sobre los cuales se trabajaron son mucho más cercanos a la realidad en comparación con los estudios que se realizaron en años anteriores, como es el caso de la planta de Laureles donde se proyectó tener un costo operativo de 26.46 USD/m<sup>3</sup> en el año 2019, cuando lo que en realidad sucedió fue un costo de 1,32 USD/m<sup>3</sup>. Esto da mucha más credibilidad a los resultados obtenidos en el presente trabajo.
- La correcta gestión de los recursos ha provocado que las eficiencias aumenten sin involucrar incrementos severos en los costos operativos de las plantas de tratamiento de agua residual. A su vez, el tamaño de la base de datos de los registros de las características fisicoquímicas de las aguas residuales ha aumentado, lo que quiere decir que se está llevando un control más estricto sobre estas propiedades.
- Las estaciones de depuración de aguas residuales que trabajan con humedales tienen un mejor rendimiento en el tratamiento de aguas servidas que las plantas con fosa filtro, alcanzando eficiencias de alrededor del 71%. Sin embargo, estas se ven afectadas por la cota sobre el nivel del mar en la que están trabajando y su costo es alto para servir a poblaciones pequeñas.
- El sistema de descentralización de las plantas de tratamiento de aguas residuales es la mejor opción ya que se disminuyen los costos operativos relacionados con mantenimiento de las redes. Al tener costos operativos bajos, ETAPA EP puede brindar

este servicio en zonas alejadas que no cuenten con redes de alcantarillado sanitario, sin necesidad de centralizar a la planta de Ucubamba, sino invertir en un servicio de buena calidad para las comunidades que la requieran, y a la vez recuperar la inversión a través de la misma población.

Para finalizar, se han planteado las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar un análisis de las redes de interceptores de las PTARs que hoy en día se encuentran en desuso, con el fin de determinar sus costos operativos y llegar a la conclusión si era representativo el costo como para eliminar estas EDARs. A la vez este análisis, serviría para determinar si alargar las redes de alcantarillado genera un costo operativo lo suficientemente representativo como para que se prefiera la opción de plantas de tratamiento descentralizadas.
- Implementar estudios del agua subterránea infiltrada en las tuberías de hormigón. Estas infiltraciones podrían estar afectando a los sistemas de tratamiento, debido a que, si existe mucha invasión de aguas subterráneas o escorrentías superficiales, los costos operativos aumentan debido al aumento de labores de mantenimiento. Es por esto que las redes tienen que estar diseñadas correctamente para evitar estas infiltraciones.

## BIBLIOGRAFÍA

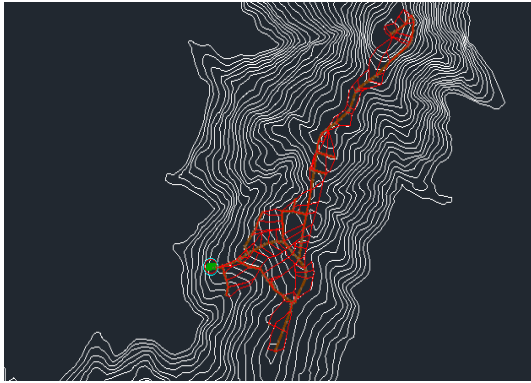
- ACOSTA, M. E. (Noviembre de 2019). *BID*. Obtenido de [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Pr%C3%A1cticas\\_y\\_saberes\\_en\\_la\\_gesti%C3%B3n\\_comunitaria\\_del\\_agua\\_para\\_consumo\\_humano\\_y\\_saneamiento\\_en\\_las\\_zonas\\_rurales\\_de\\_Ecuador\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Pr%C3%A1cticas_y_saberes_en_la_gesti%C3%B3n_comunitaria_del_agua_para_consumo_humano_y_saneamiento_en_las_zonas_rurales_de_Ecuador_es.pdf)
- AGUILAR, P. (Diciembre de 2015). *MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA*. Obtenido de [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016\\_vf.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf)
- AREVALO, B., MOROCHO, P., & NOVILLO, P. (2010). *EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUAL QUE SIRVE A LA PARROQUIA TARQUI, CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- CABRERA, J. (2018). *DAS*. Obtenido de <https://www.das-ee.com/es/tratamiento-de-efluentes/procedimientos/tratamiento-fisico-quimico/#:~:text=En%20el%20tratamiento%20de%20aguas,pesados%20de%20las%20aguas%20residuales.>
- CEPIS, & OPS. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE ALCANTARILLADO*. LIMA.
- DAVILA, J. (Agosto de 2005). Obtenido de CENDES: <https://www.redalyc.org/pdf/403/40305913.pdf>
- DE LA VEGA, M. Y. (Noviembre de 2012). *CONTRIBUCION A LA GESTION Y DESARROLLO SOCIAL*. Obtenido de <http://indesol.gob.mx/cedoc/pdf/III.%20Desarrollo%20Social/Agua%20y%20Saneamiento/Eficiencia%20en%20Plantas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>
- DE LA VEGA, M. Y. (2012). *Eficiencia en plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México: ISBN. Obtenido de *Eficiencia en plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*.
- DELGADILLO, O., CAMACHO, A., PÉREZ, L., & ANDRADE, M. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. La Habana.
- ESCALANTE, V., SÁNCHEZ, M., POZO, F., & RIVAS, A. (2000). *Identificación y evaluación de procesos biológicos de tratamiento*. México: Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
- GALVIS, J., & RIVERA, X. (2013). Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2157dcb6-205c-44ae-abfc-90b4c65d53e3/content>
- GONZALEZ, C., & NARVAEZ, A. (2018). *Evaluación y rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Acchayacu, parroquia Tarqui, del cantón Cuenca, Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- GUAMÁN, V., & MOLINA, M. (2015). *EVALUACIÓN DE LAS PLANTAS DE DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LAS COMUNIDADES DE MACAS Y SAN PEDRO, CANTÓN CUENCA, AZUAY*. Cuenca.
- GUAMÁN, V., & MOLINA, M. (2015). *EVALUACIÓN DE LAS PLANTAS DE DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LAS COMUNIDADES DE MACAS Y SAN PEDRO, CANTÓN CUENCA, AZUAY*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2003). NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES . Quito, Ecuador. Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.normalizacion.gob.ec%2Fbuzon%2Fnormas%2Fcpe\_inen\_5%2520Parte\_9-1.pdf&chunk=true
- LOPEZ, C., BUITRON, G., GARCIA, H., & CERVANTES, F. (2017). Obtenido de <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>
- METCALF, & EDDY. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. VOL 1*. España: McGrawHill.
- MUÑOZ, A. (Junio de 2008). Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/c?sequence=1>
- OCAMPO, M. (Enero de 2019). *OFICINA DE INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLOGIA EL CONGRESO DE LA UNION*. Obtenido de [https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-028.pdf](https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf)
- ONCE, D., & RUIZ, J. (2014). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/38667190>
- ORDOÑEZ, F. (Diciembre de 2004). Obtenido de <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/388/14.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PAUTA, G. (2010). *DIALNET*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7345331>
- PEREZ, F. (2019). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- 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*. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- ROMERO ROJAS, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Bogota: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- TILLEY, E., ULRICH, L., LUTHI, C., REYMOND, P., SCHERIENLEIB, R., & ZURBRUG, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Suiza: Instituto Federak Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática.
- VYMAZAL, J., & KRÖPFELOVÁ, L. (2008). *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow*. Springer science & business media.
- YUNGA, A. (2019). *Análisis de sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- ZAMORA, L. C. (2015). *UNIVERSIDAD DEL AZUAY*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4571/1/11058.PDF>

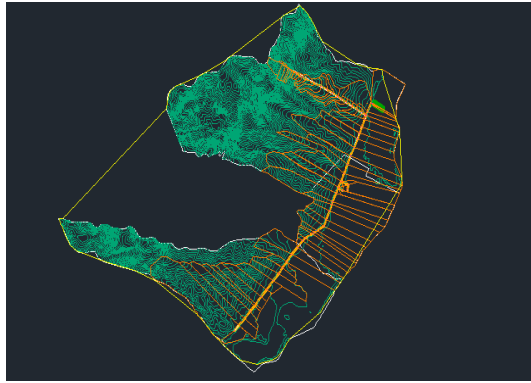
# ANEXOS

## Anexo 1. Áreas de aporte de las plantas de tratamiento de agua residual

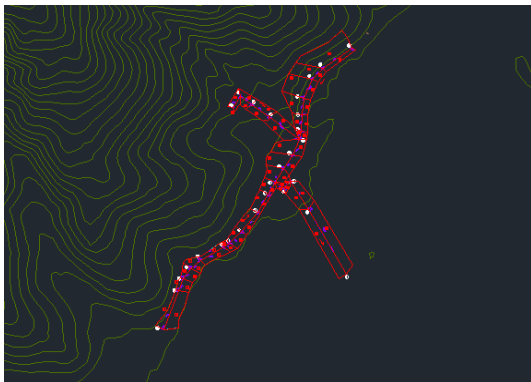
Cementerio



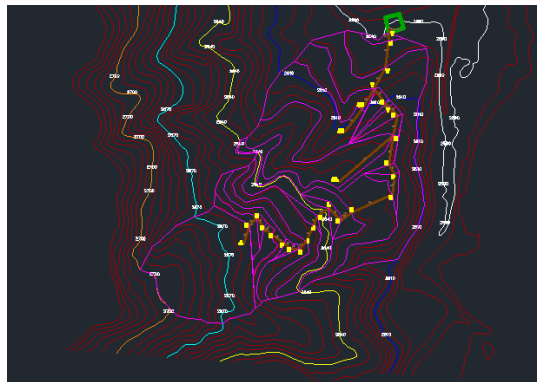
Churuguzo



Cumbe



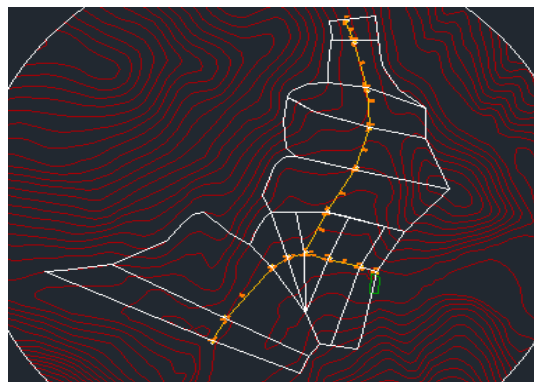
El chorro



Escaleras



Macas

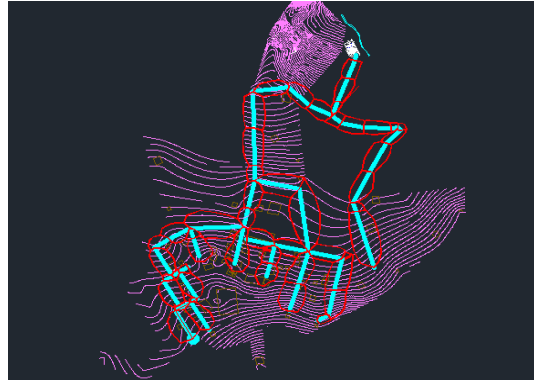




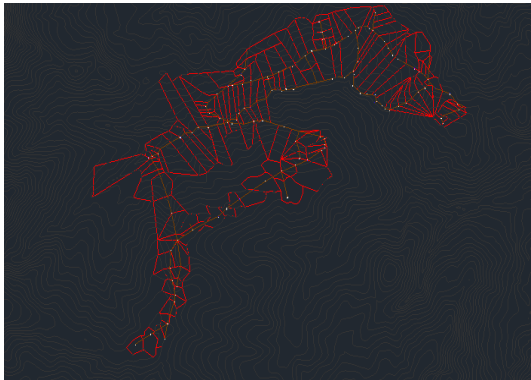
Molleturo



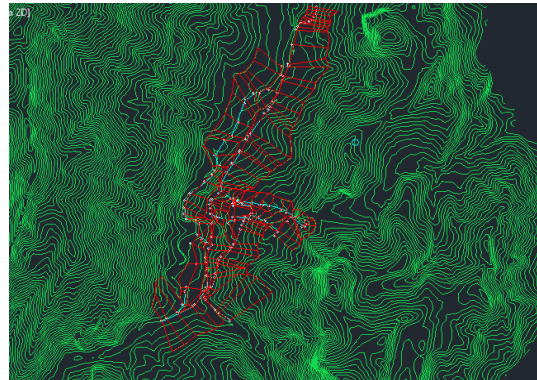
Monjas



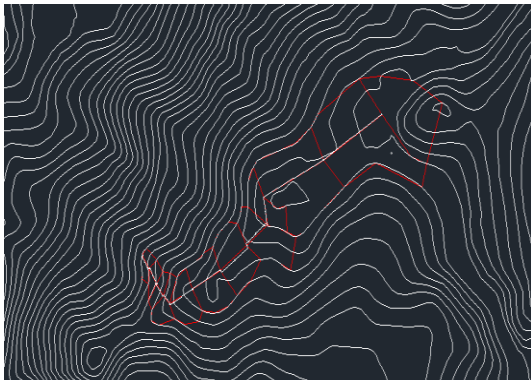
Quilopungo



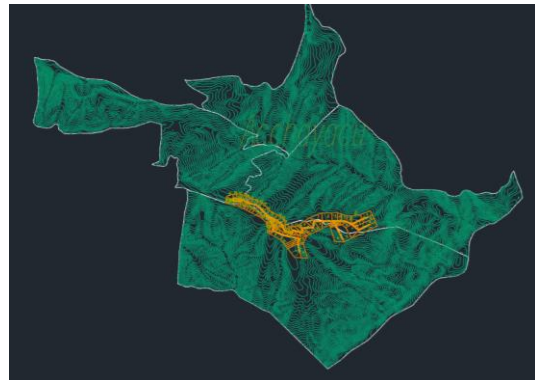
Quingeo



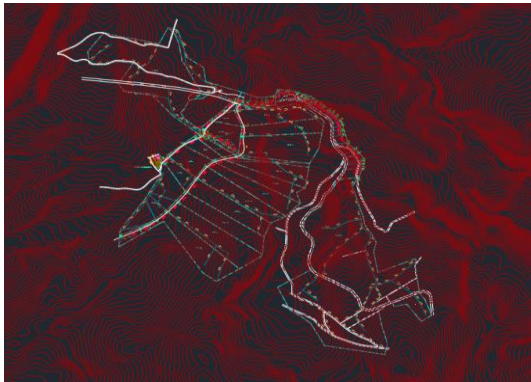
Santa Barbara



Acchayacu



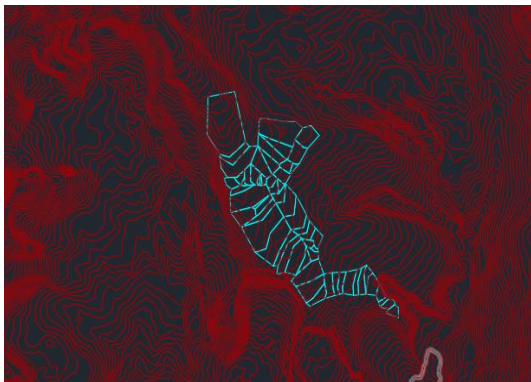
Bella Unión



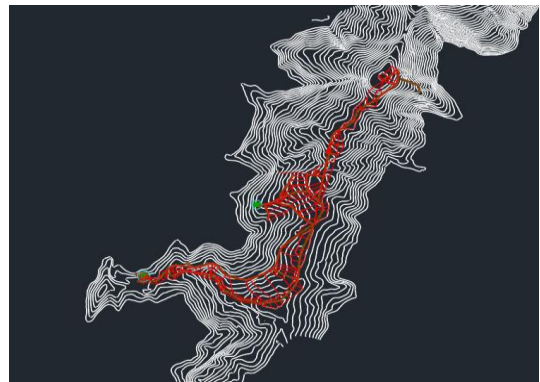
Guabo



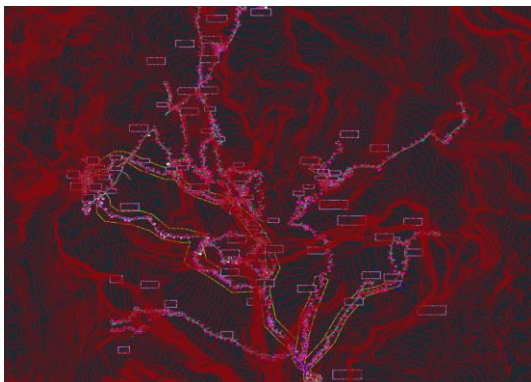
Jatumpamba



Laureles



Octavio Cordero

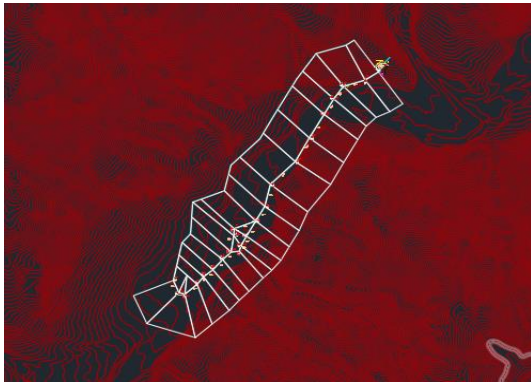


San Pedro

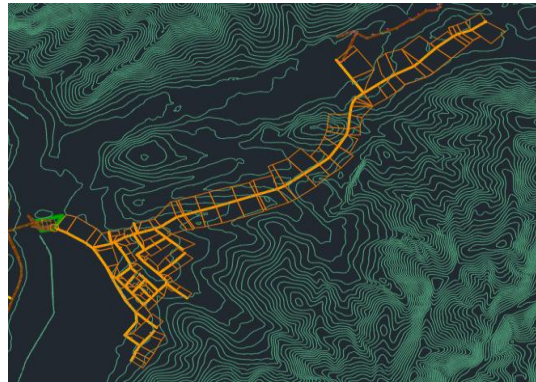




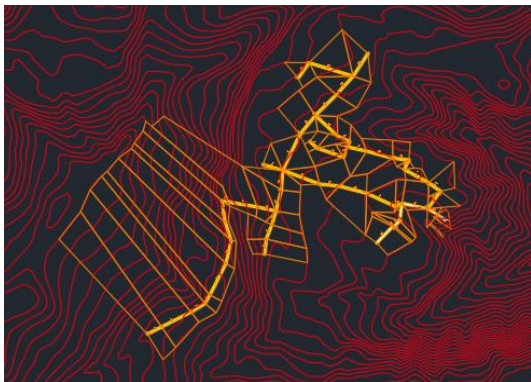
Soldados



Tarqui



Tutupali



**Anexo 2. Tablas de eficiencias de las plantas de tratamiento de agua residual para los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.**

EFICIENCIAS 2015							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	19,88%	60,01%	55,44%	42,84%		85,62%	55,92%
CHURUGUZO		88,02%	76,91%	60,98%		90,00%	77,16%
EL CHORRO			70,30%	9,83%		100,00%	
ESCALERAS		90,33%	33,22%	60,45%		100,00%	60,61%
MACAS		77,58%	77,27%	78,41%		100,00%	
MOLLETURO							
MONJAS							
QUILLOPUNGO	9,68%	70,96%	62,89%	50,48%		97,22%	85,91%
QUINGEO	12,28%	80,05%	70,44%	64,42%		98,33%	67,71%
STA BARBARA							
ACCHAYACU		92,61%	88,81%	58,09%		99,60%	
BELLA UNION							
GUABO		53,95%	69,37%			100,00%	
JATUMPAMBA							
LAURELES		63,96%	55,57%	60,44%		93,33%	51,59%
OCTAVIO CORDERO							
SAN PEDRO	1,54%	84,33%	52,84%	49,20%		100,00%	68,68%
SOLDADOS		73,91%	56,36%			66,67%	90,00%
TARQUI		98,60%	97,46%	95,74%		99,87%	94,85%
TUTUPALI							
PILLACHIQUIR			87,21%	41,19%		98,75%	

EFICIENCIAS 2016							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	25,41%	74,68%	67,71%	45,77%	88,89%	100,00%	60,86%
CHURUGUZO	44,60%	88,72%	77,25%	86,48%		99,89%	87,09%
EL CHORRO							
ESCALERAS	33,12%	91,70%	92,53%	82,55%	50,00%	99,34%	96,73%
MACAS	15,06%	78,80%	73,34%	49,88%		100,00%	79,28%
MOLLETURO							
MONJAS							
QUILLOPUNGO	24,61%	88,55%	87,70%	59,53%	16,67%	100,00%	88,06%
QUINGEO	19,45%	80,08%	78,63%	69,80%		98,70%	75,57%
STA BARBARA							
ACCHAYACU							
BELLA UNION	90,56%	91,60%	85,69%	88,48%		100,00%	83,09%
GUABO	14,67%	86,74%	88,36%	70,36%		100,00%	79,05%
JATUMPAMBA							
LAURELES	59,00%	70,62%	67,35%	45,87%	22,58%	100,00%	85,54%
OCTAVIO CORDERO							
SAN PEDRO	22,96%	79,06%	98,13%	67,99%	16,36%	91,67%	52,94%
SOLDADOS		100,00%	60,50%	28,59%	8,06%	100,00%	99,57%
TARQUI	16,76%	96,05%	73,91%	81,83%		99,89%	91,18%
TUTUPALI	4,34%	14,06%	18,26%	37,13%		100,00%	
CHAUCHA							
PILLACHIQUIR							

EFICIENCIAS 2017							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	18,75%	77,86%	68,58%	60,64%		99,21%	79,02%
CHURUGUZO	28%	59%	49%		59%	99%	82%
CUMBE	29,53%	61,54%	54,82%	5,95%	11,76%	100,00%	47,83%
EL CHORRO	23,38%	61,74%	97,38%			100,00%	65,00%
ESCALERAS	22,85%	73,59%	48,73%	54,81%		97,78%	59,71%
MACAS	27,09%	84,07%	71,27%		23,08%	100,00%	90,84%
MOLLETURO		81,03%	64,97%	33,33%	1,59%	80,00%	93,03%
MONJAS	25,04%	93,25%	69,19%		19,30%	100,00%	97,33%
QUILLOPUNGO	11,67%	45,80%	43,03%	49,36%	15,38%	100,00%	61,60%
QUINGEO	18,20%	75,87%	75,41%	26,93%		99,44%	63,12%
STA BARBARA							
ACCHAYACU	36,93%	56,98%	24,86%	15,33%	20,96%	100,00%	52,00%
BELLA UNION	40,74%	88,35%	70,98%	18,61%		98,33%	76,11%
GUABO	11,54%	45,03%	49,52%	45,54%	30,74%	100,00%	44,70%
JATUMPAMBA							
LAURELES	31,75%	75,10%	73,18%	63,63%		100,00%	65,12%
OCTAVIO CORDERO	75,22%	89,28%	92,66%	85,25%	100,00%	100,00%	99,67%
SAN PEDRO	26,76%	69,72%	60,19%	85,54%	6,67%	97,50%	71,67%
SOLDADOS	49,38%	100,00%	65,34%		23,81%	100,00%	95,49%
TARQUI	21,53%	38,70%	25,16%	43,44%	23,85%	76,33%	71,34%
TUTUPALI	20,29%	61,52%	50,09%	57,67%	29,68%	96,79%	66,34%
CHAUCHA	14,04%	86,46%	80,88%	80,64%		100,00%	86,36%
PILLACHIQUIR							

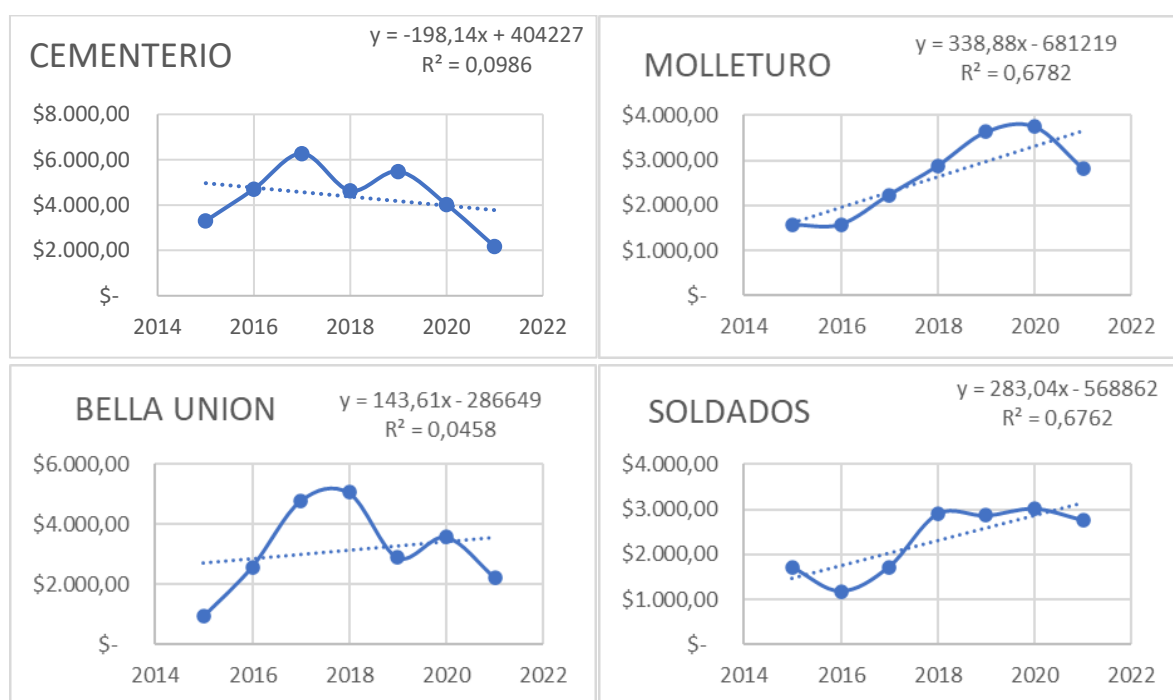
EFICIENCIAS 2018							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	11,73%	63,00%	59,62%	49,15%	53,33%	93,67%	57,69%
CHURUGUZO	21,74%	65,13%	60,98%	58,66%	17,86%	97,92%	82,17%
CUMBE	13,12%	80,50%	76,79%	58,27%	18,67%	90,38%	76,35%
EL CHORRO	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
ESCALERAS	16,24%	82,70%	76,29%	49,34%	14,54%	94,29%	82,87%
MACAS	20,21%	61,23%	55,46%	62,29%	8,87%	88,88%	70,02%
MOLLETURO	35,49%	58,11%	32,61%	84,58%	15,02%	88,00%	91,73%
MONJAS	29,81%	69,45%	68,92%	50,73%	8,70%	100,00%	94,47%
QUILLOPUNGO	16,29%	51,89%	49,61%	35,36%	37,07%	100,00%	66,22%
QUINGEO	14,59%	77,00%	72,32%	59,07%	3,64%	96,43%	95,10%
STA BARBARA					12,86%		75,50%
ACCHAYACU	22,68%	50,62%	40,12%	52,73%	31,25%	83,33%	63,25%
BELLA UNION	17,72%	85,10%	65,67%	65,65%	4,35%	100,00%	83,84%
GUABO	20,34%	75,44%	65,77%	72,41%	10,81%	95,89%	63,71%
JATUMPAMBA							
LAURELES	58,39%	76,47%	63,90%	45,17%	71,97%	90,00%	76,28%
OCTAVIO CORDERO	15,16%	84,41%	70,70%	60,53%	35,19%	100,00%	98,16%
SAN PEDRO	58,99%	72,95%	58,00%	58,54%	32,85%	100,00%	84,37%
SOLDADOS	26,62%	83,94%	78,79%	44,26%		100,00%	99,17%
TARQUI	17,23%	54,09%	55,13%	38,84%		59,90%	75,38%
TUTUPALI	25,37%	73,89%	57,60%	41,30%	58,64%	85,20%	72,15%
CHAUCHA	28,30%	82,27%	82,56%	79,11%		98,72%	89,06%
PILLACHIQUIR	17,64%	66,81%	50,02%	35,00%	22,22%	70,00%	85,97%

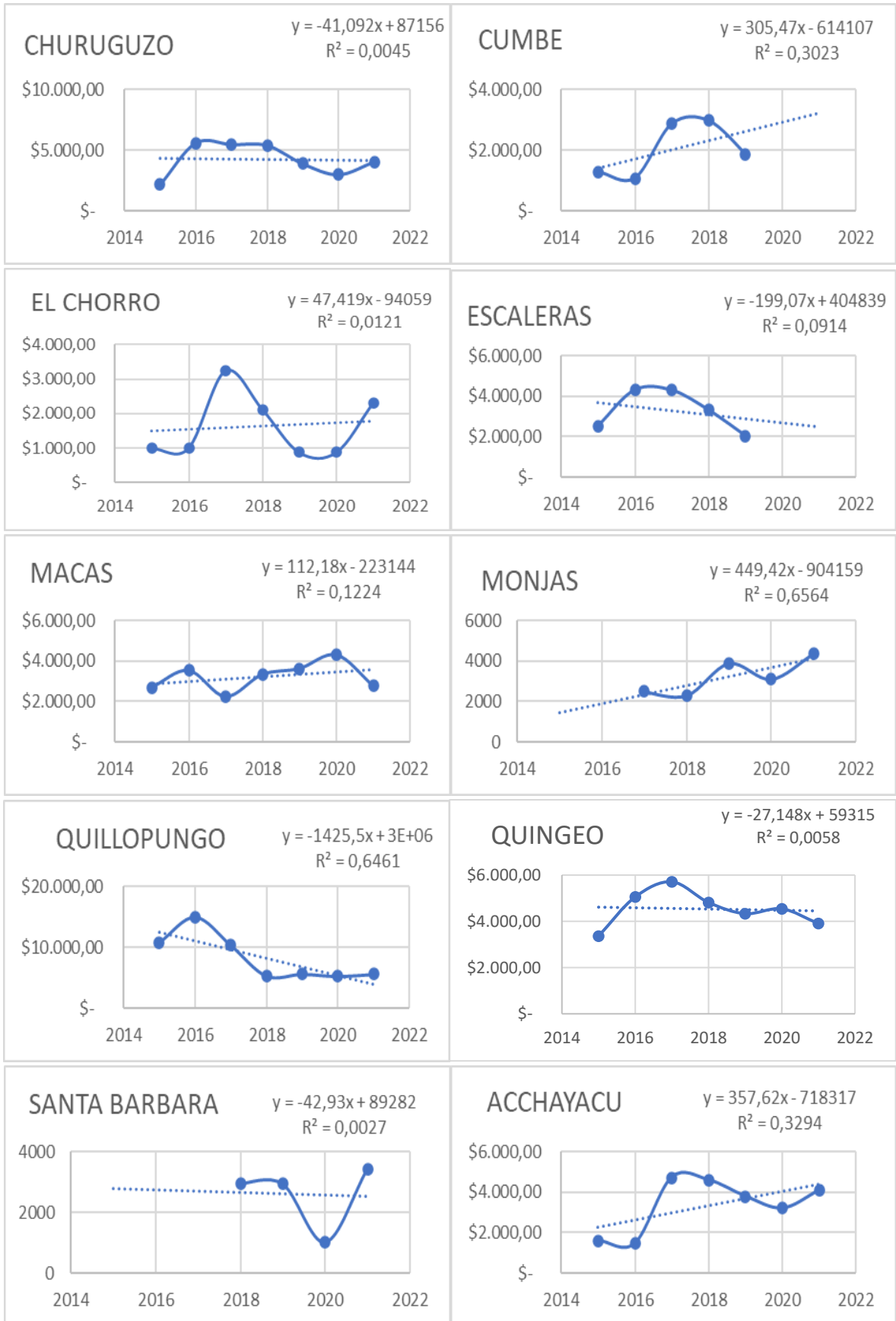
EFICIENCIAS 2019							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	19,09%	69,92%	70,65%	55,21%	90,00%	92,42%	79,16%
CHURUGUZO	40,94%	93,91%	89,45%	82,67%		99,53%	93,85%
CUMBE							
EL CHORRO							
ESCALERAS							
MACAS	9,75%	82,80%	76,66%	82,88%		99,29%	79,24%
MOLLETURO	47,93%	75,92%	72,18%	54,18%	1,61%	90,93%	92,18%
MONJAS	36,46%	88,55%	82,27%	72,18%	1,56%	99,87%	93,77%
QUILLOPUNGO	19,88%	56,60%	59,99%	48,85%	89,29%	100,00%	69,93%
QUINGEO	25,83%	96,89%	92,56%	88,07%		99,84%	86,29%
STA BARBARA	13,24%	54,97%	62,86%	47,08%	12,41%	100,00%	72,98%
ACCHAYACU		74,00%	65,08%	54,88%	8,47%	99,52%	60,61%
BELLA UNION	9,62%	82,25%	73,40%	72,68%	6,25%	99,56%	79,10%
GUABO	16,04%	90,04%	90,98%	42,69%		95,00%	55,35%
JATUMPAMBA							
LAURELES	14,67%	70,64%	62,50%	64,08%	42,86%	100,00%	78,82%
OCTAVIO CORDERO	12,75%	98,10%	94,63%	61,05%	81,62%	97,57%	97,73%
SAN PEDRO	21,62%	85,32%	74,56%	67,35%	7,53%	99,24%	84,81%
SOLDADOS	32,00%	91,31%	88,54%	77,03%		100,00%	99,44%
TARQUI							
TUTUPALI	17,29%	75,17%	77,21%	76,39%		95,45%	73,34%
CHAUCHA	21,96%	94,77%	91,02%	76,23%		100,00%	80,49%
PILLACHIQUIR	30,78%	86,45%	81,05%	69,26%	50,00%	99,37%	94,46%

EFICIENCIAS 2020							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	18,77%	80,84%	82,31%	69,12%		92,72%	76,98%
CHURUGUZO	47,29%	69,67%	76,07%	72,01%		100,00%	89,88%
CUMBE							
EL CHORRO							
ESCALERAS							
MACAS	8,64%	84,68%	81,72%	70,06%		100,00%	72,33%
MOLLETURO	15,80%	85,05%	89,56%	73,09%		93,03%	71,48%
MONJAS	25,67%	90,19%	80,82%	74,08%		100,00%	88,31%
QUILLOPUNGO	1,57%	57,67%	41,42%	43,13%		92,86%	82,70%
QUINGEO	29,47%	72,07%	63,25%	67,34%	25,50%	100,00%	93,64%
STA BARBARA							
ACCHAYACU	17,69%	88,97%	85,84%	71,89%	22,41%	100,00%	74,26%
BELLA UNION	16,72%	74,82%	77,08%	66,75%	9,76%	99,11%	72,74%
GUABO	14,25%	94,32%	81,17%	80,98%		96,11%	74,23%
JATUMPAMBA							
LAURELES	23,89%	81,23%	79,72%	65,42%	29,17%	95,28%	72,46%
OCTAVIO CORDERO	54,43%	98,87%	93,80%	70,65%	3,17%	100,00%	99,42%
SAN PEDRO	16,72%	82,76%	76,25%	55,63%	3,17%	100,00%	85,17%
SOLDADOS	30,46%	97,79%	96,10%	78,71%		99,88%	98,87%
TARQUI							
TUTUPALI	37,45%	80,68%	74,79%	81,92%	50,00%	97,69%	64,07%
CHAUCHA	35,92%	97,86%	97,02%	79,96%		100,00%	97,71%
PILLACHIQUIR	33,42%	93,35%	91,60%	83,76%	82,54%	95,87%	85,38%

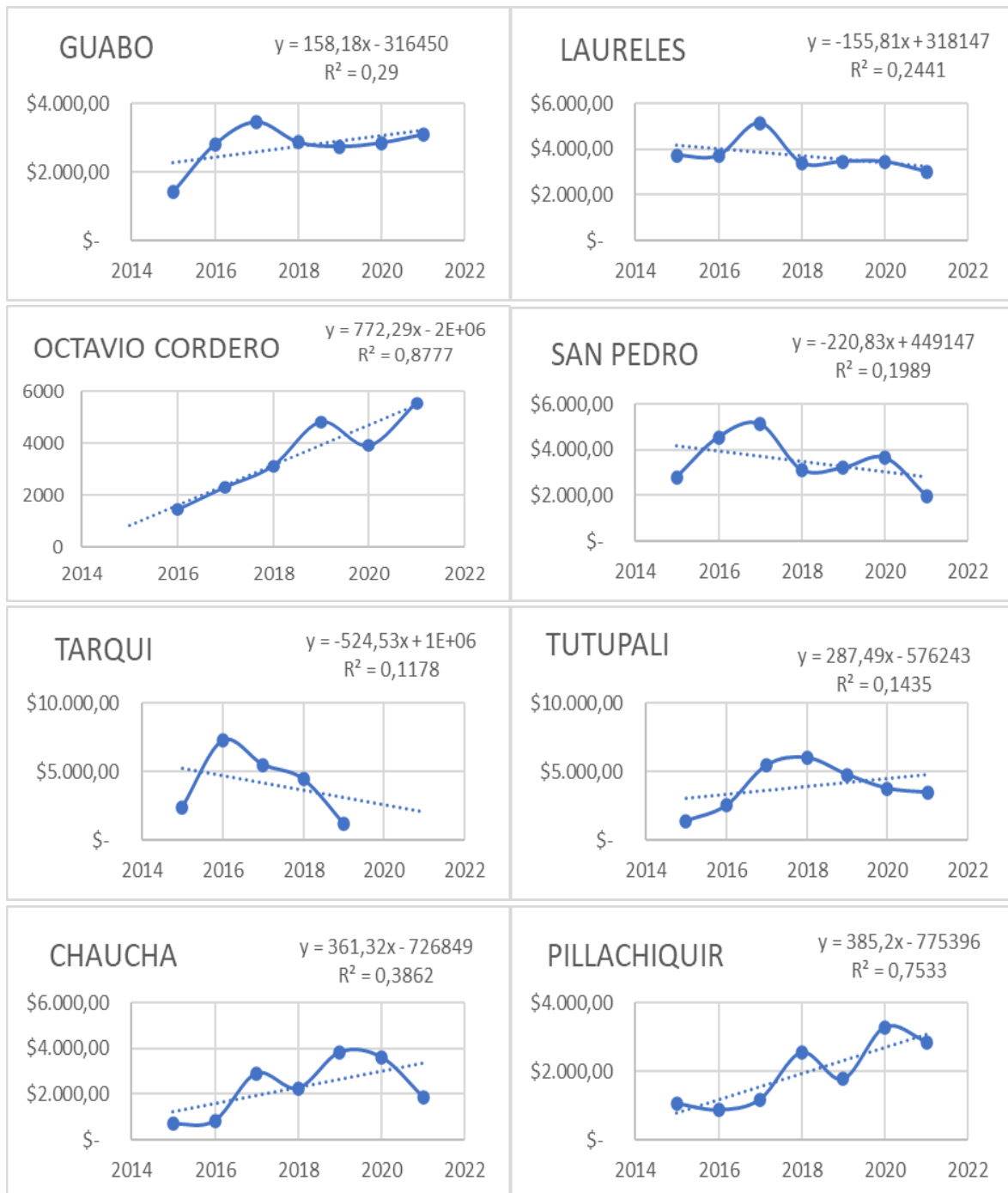
EFICIENCIAS 2021							
PLANTA	Cond	DBO	DQO	Norg	OD	SS	CT
CEMENTERIO	32,93%	85,80%	78,20%	77,02%		100,00%	68,80%
CHURUGUZO	34,58%	96,76%	93,98%	93,72%		99,86%	93,35%
CUMBE							
EL CHORRO	25,07%	95,78%	94,45%	76,30%	15,87%	100,00%	71,78%
ESCALERAS							
MACAS	28,69%	66,12%	53,48%	70,50%	4,00%	99,81%	85,90%
MOLLETURO	10,88%	83,82%	81,98%	77,32%		92,00%	68,98%
MONJAS	28,36%	90,47%	77,57%	63,79%		99,75%	88,63%
QUILLOPUNGO	23,45%	68,35%	76,11%	66,38%	41,06%	99,93%	87,00%
QUINGEO	19,92%	88,98%	82,41%	72,74%		99,63%	89,52%
STA BARBARA	11,94%	51,26%	53,86%	52,08%	11,76%	100,00%	69,12%
ACCHAYACU	27,21%	74,04%	70,86%	78,82%	21,16%	100,00%	69,44%
BELLA UNION	22,63%	84,39%	80,16%	74,12%	68,00%	100,00%	65,91%
GUABO	14,97%	92,91%	94,50%	88,53%	41,28%	99,52%	78,49%
JATUMPAMBA							
LAURELES	23,92%	72,82%	64,28%	52,58%	34,83%	97,78%	86,42%
OCTAVIO CORDERO	36,41%	91,64%	91,44%	78,56%		100,00%	95,96%
SAN PEDRO	37,67%	61,18%	53,76%	51,52%	30,30%	100,00%	66,88%
SOLDADOS	45,38%	95,99%	96,12%	75,39%		99,52%	99,26%
TARQUI							
TUTUPALI	27,17%	77,34%	81,93%	63,38%	12,96%	99,60%	71,55%
CHAUCHA	47,98%	97,68%	97,02%	80,11%	52,46%	99,95%	58,88%
PILLACHIQUIR	44,37%	90,23%	86,38%	70,00%	63,93%	93,78%	89,26%

### Anexo 3. Gráficos de regresión lineal de los costos operativos anuales de las PTARs





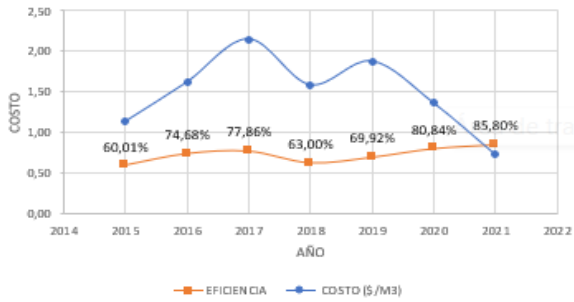




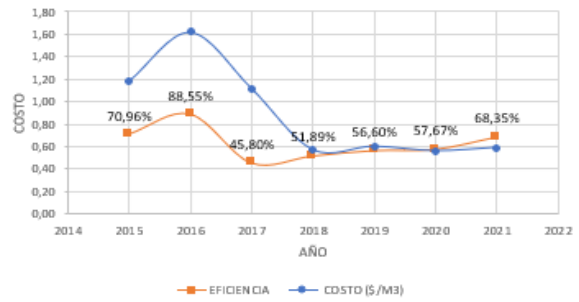
**Anexo 4. Gráficos de costos vs eficiencia de las plantas de tratamiento de agua residual.**

**Eficiencias DBO vs costos operativos**

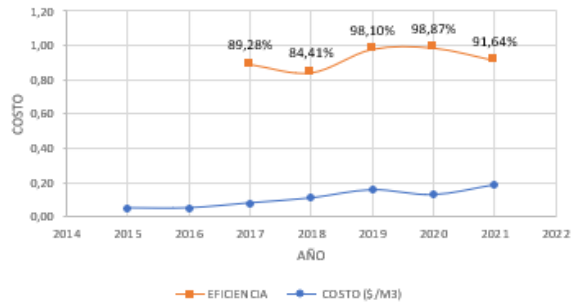
EFICIENCIA DBO CEMENTERIO



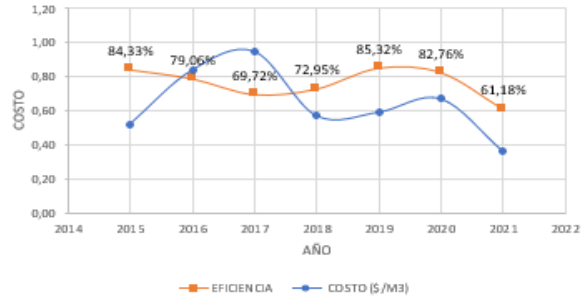
EFICIENCIA DBO QUILLOPUNGO



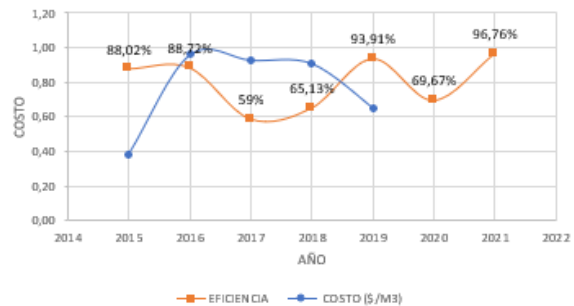
EFICIENCIA DBO OCTAVIO CORDERO



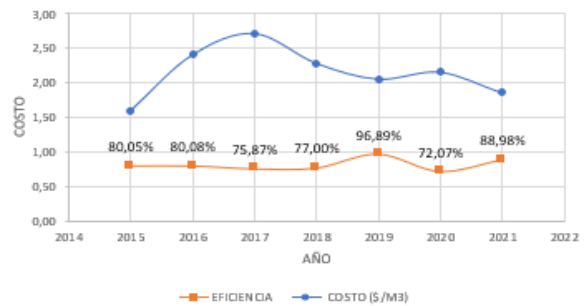
EFICIENCIA DBO SAN PEDRO



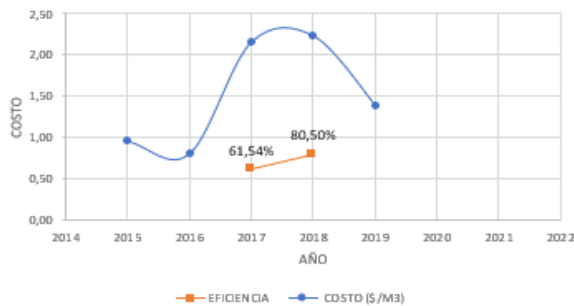
EFICIENCIA DBO CHURUGUZO



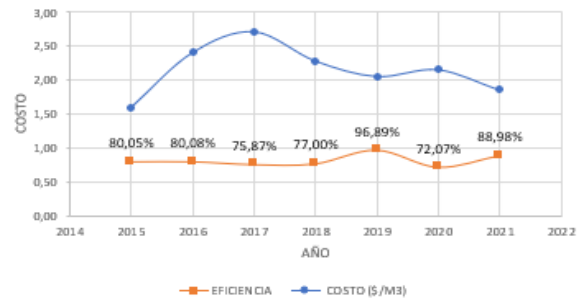
EFICIENCIA DBO QUINGEO



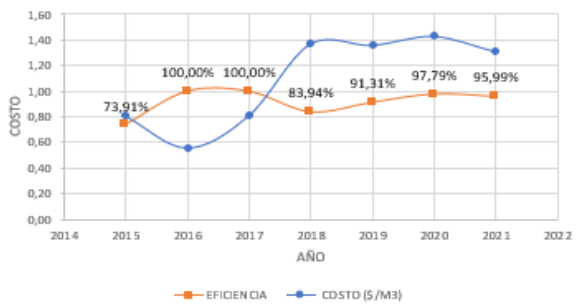
EFICIENCIA DBO CUMBE



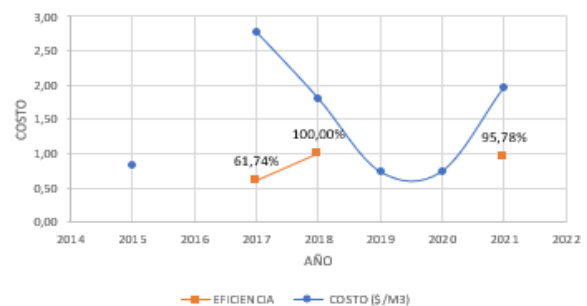
EFICIENCIA DBO QUINGEO



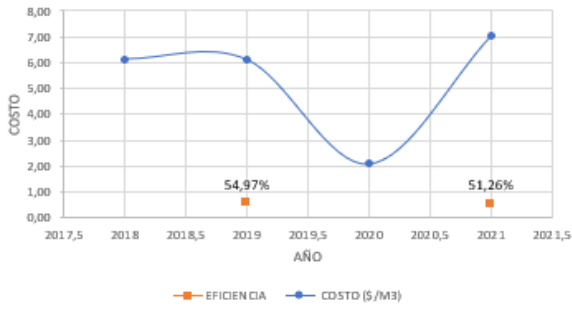
EFICIENCIA DBO SOLDADOS



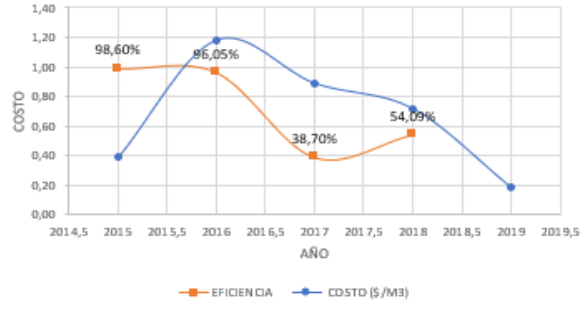
EFICIENCIA DBO EL CHORRO



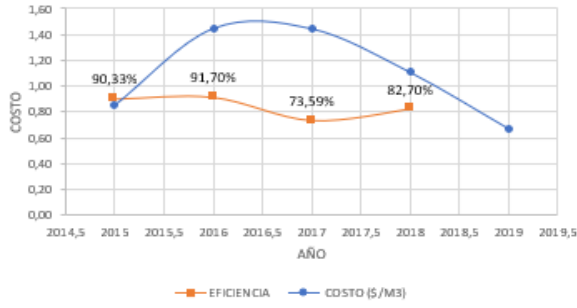
EFICIENCIA DBO SANTA BARBARA



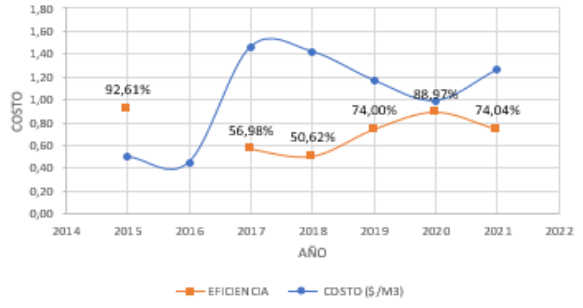
EFICIENCIA DBO TARQUI



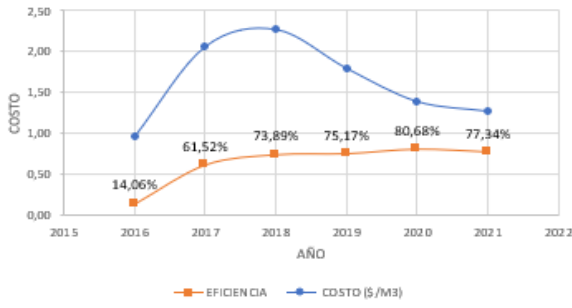
EFICIENCIA DBO ESCALERAS



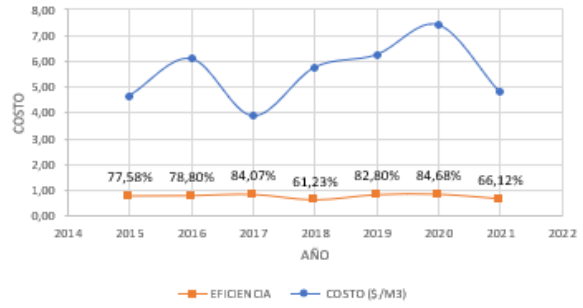
EFICIENCIA DBO ACCHAYACU



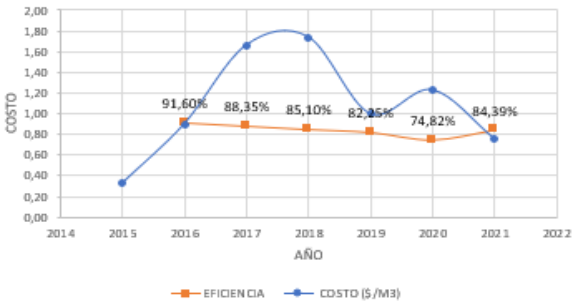
EFICIENCIA DBO TUTUPALI



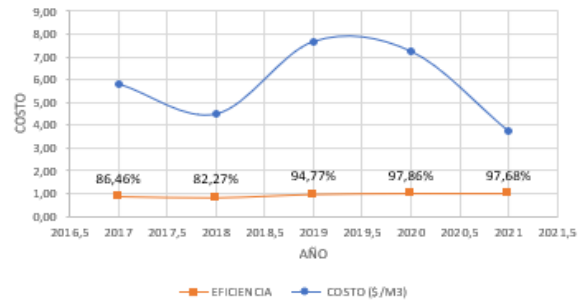
EFICIENCIA DBO MACAS



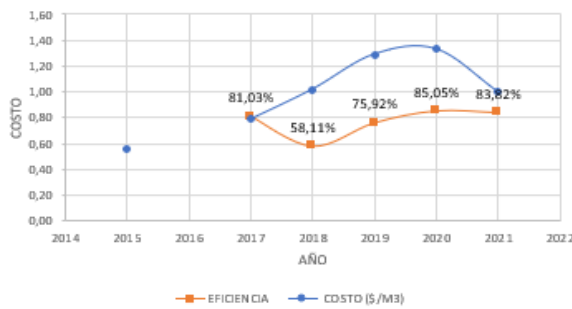
EFICIENCIA DBO BELLA UNION



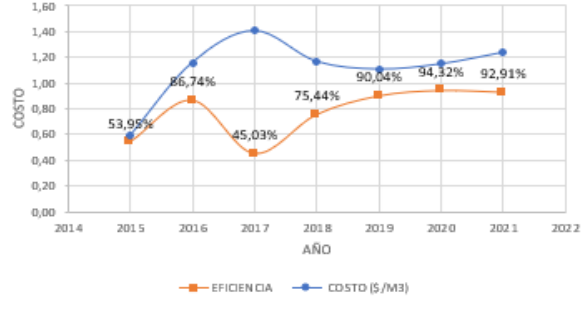
EFICIENCIA DBO CHAUCHA

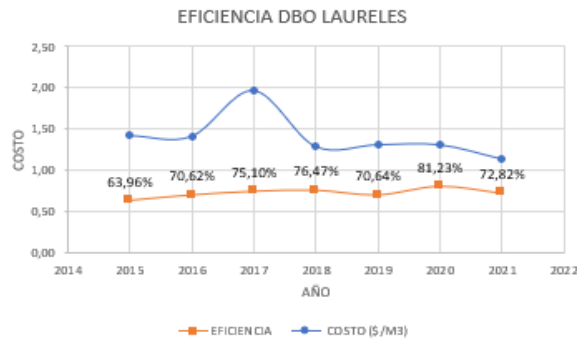
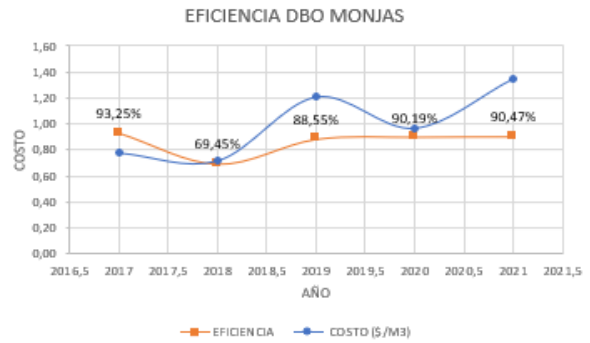
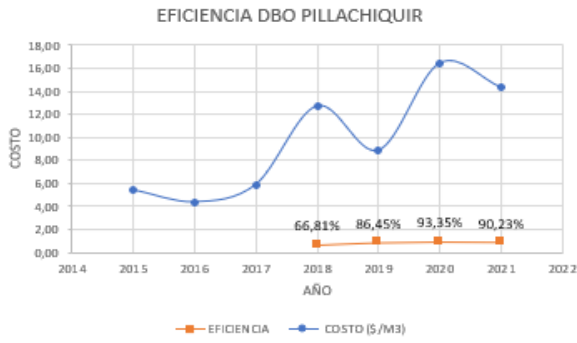


EFICIENCIA DBO MOLLETURO

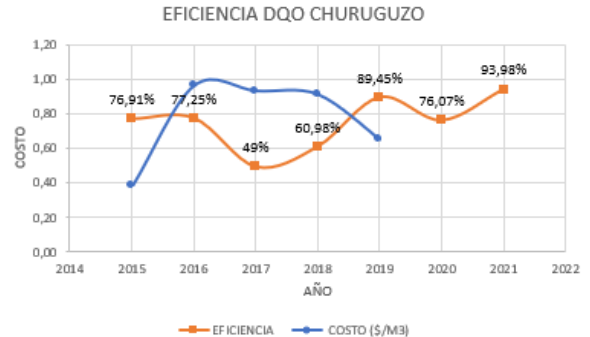
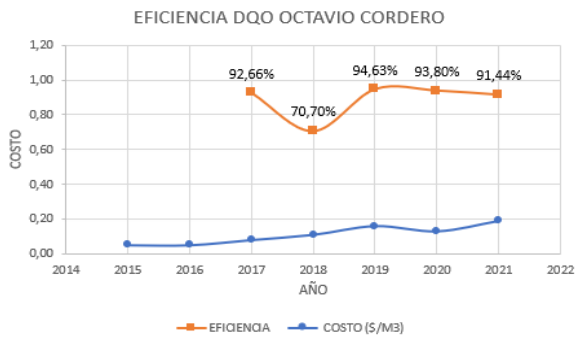
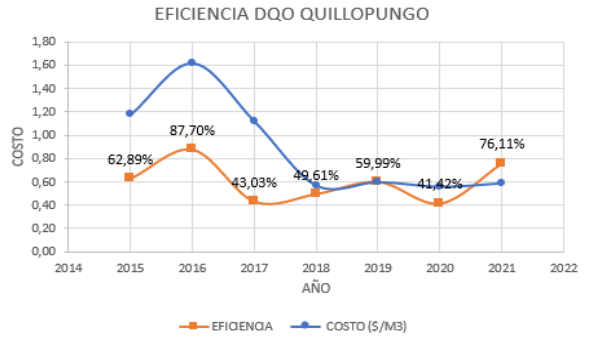
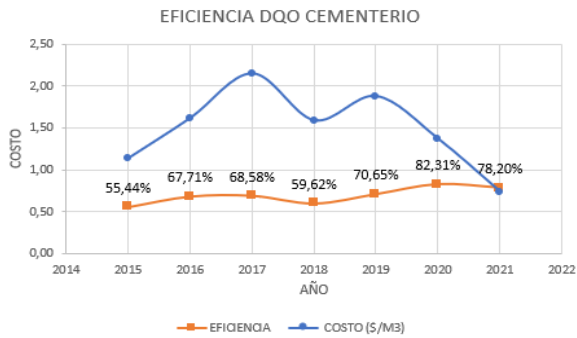


EFICIENCIA DBO GUABO

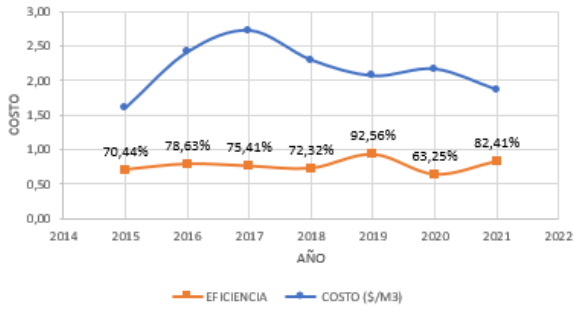




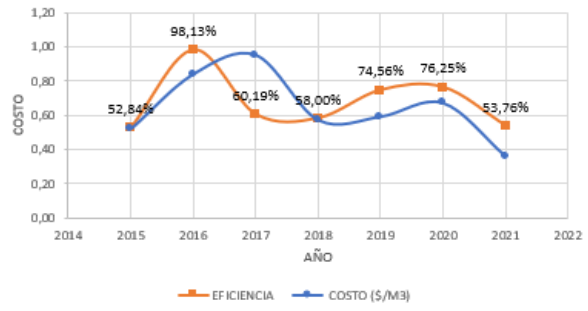
## Eficiencia DQO vs costos operativos



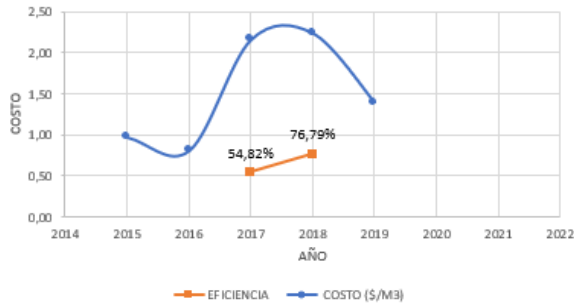
EFICIENCIA DQO QUINGEO



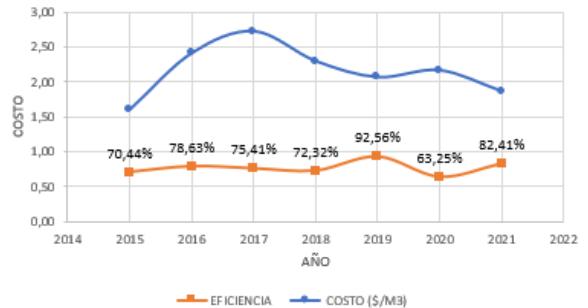
EFICIENCIA DQO SAN PEDRO



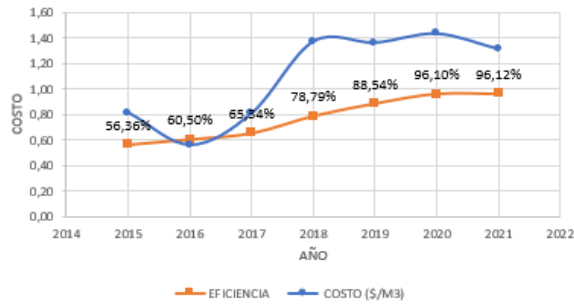
EFICIENCIA DQO CUMBE



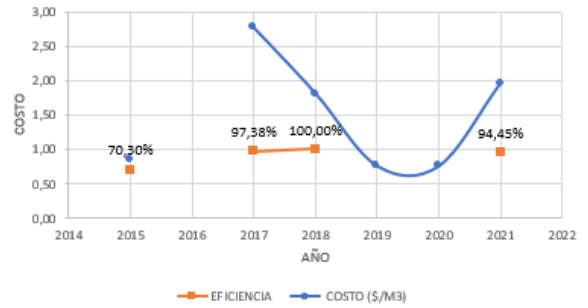
EFICIENCIA DQO QUINGEO



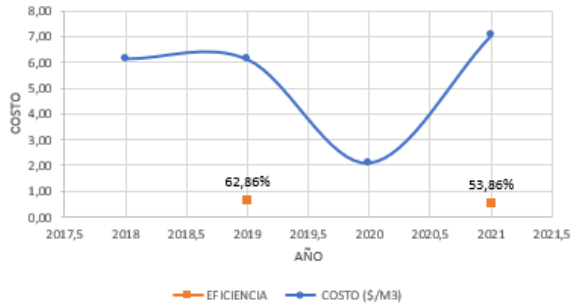
EFICIENCIA DQO SOLDADOS



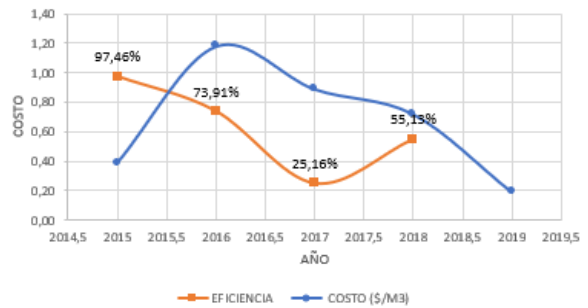
EFICIENCIA DQO EL CHORRO



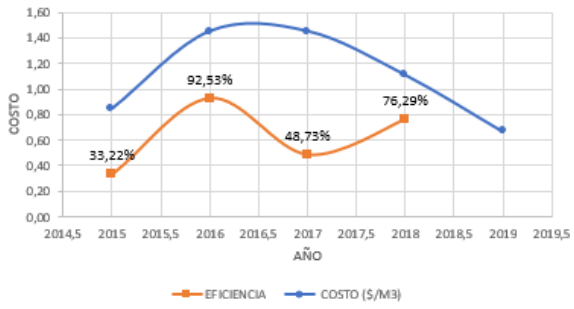
EFICIENCIA DQO SANTA BARBARA



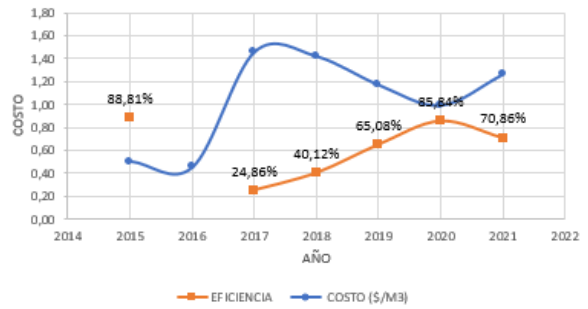
EFICIENCIA DQO TARQUI



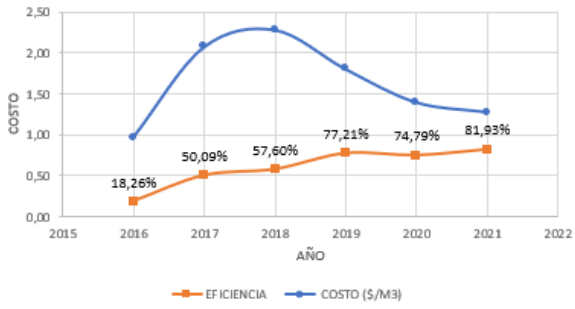
EFICIENCIA DQO ESCALERAS



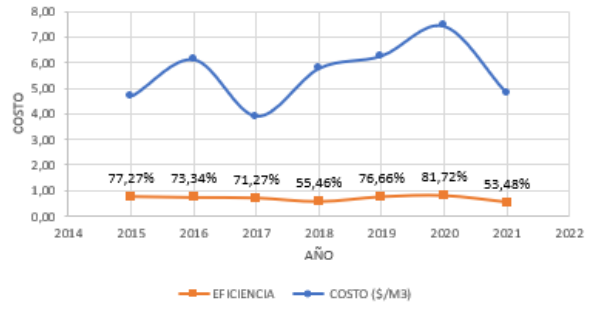
EFICIENCIA DQO ACCHAYACU



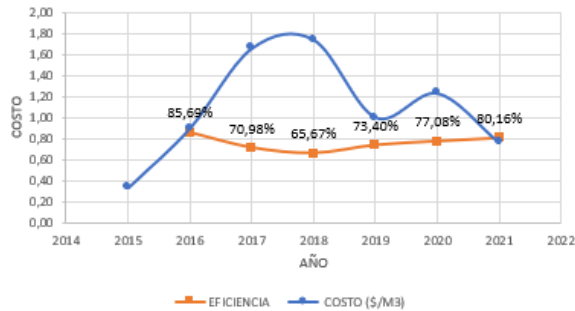
EFICIENCIA DQO TUTUPALI



EFICIENCIA DQO MACAS



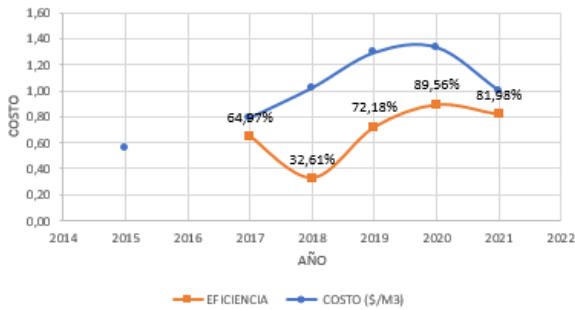
EFICIENCIA DQO BELLA UNION



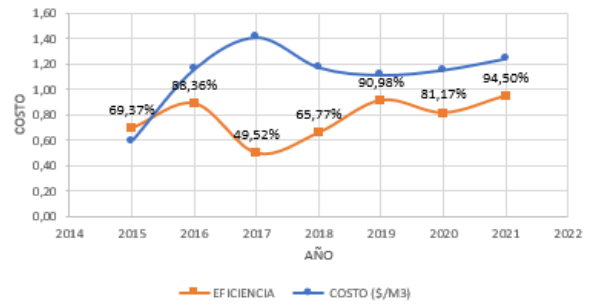
EFICIENCIA DQO CHAUCHA



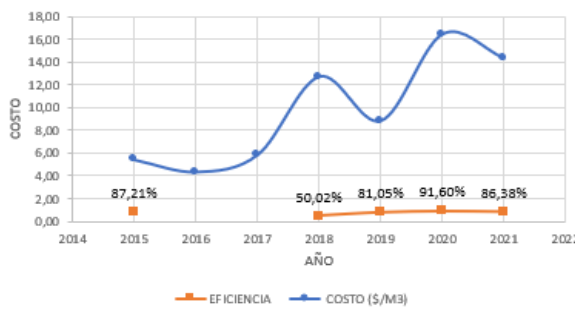
EFICIENCIA DQO MOLLETURO



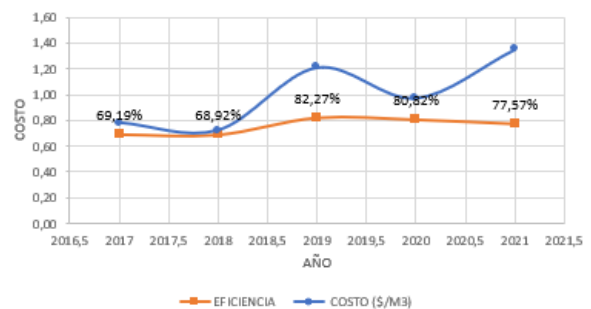
EFICIENCIA DQO GUABO



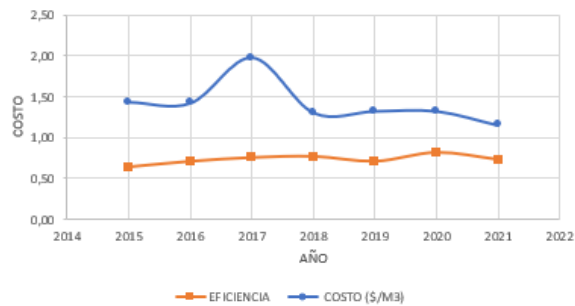
EFICIENCIA DQO PILLACHIQUIR



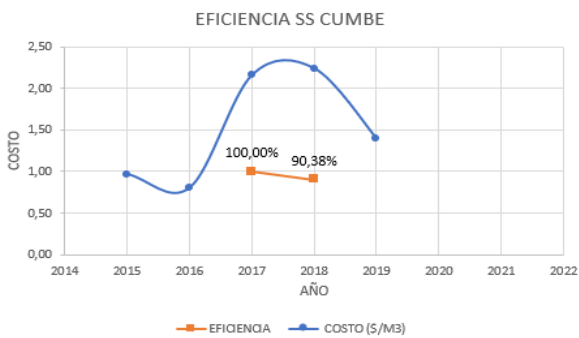
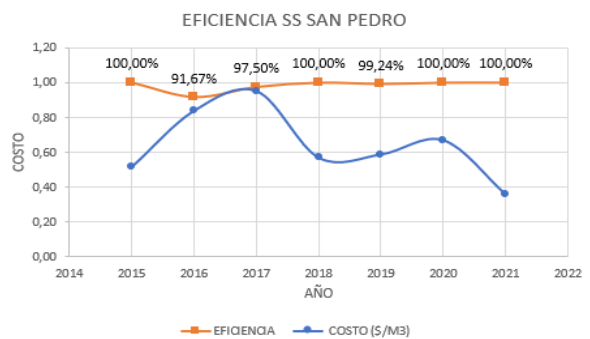
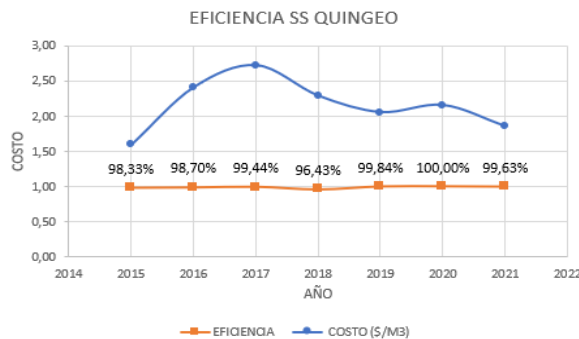
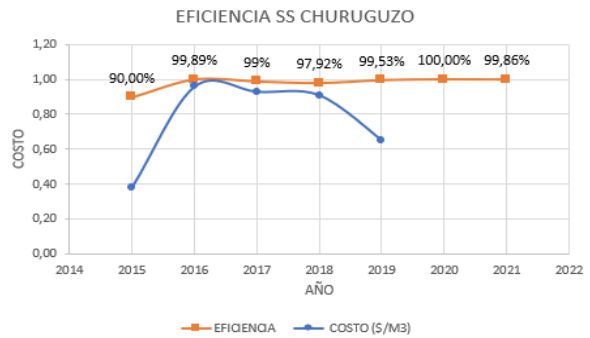
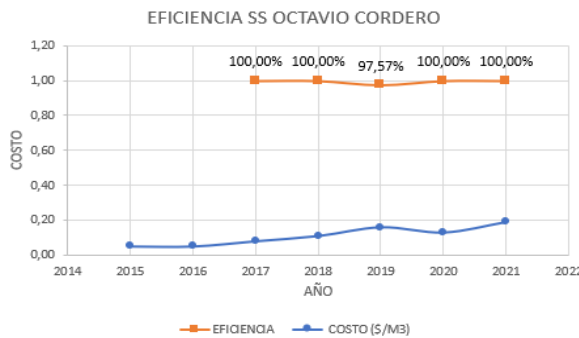
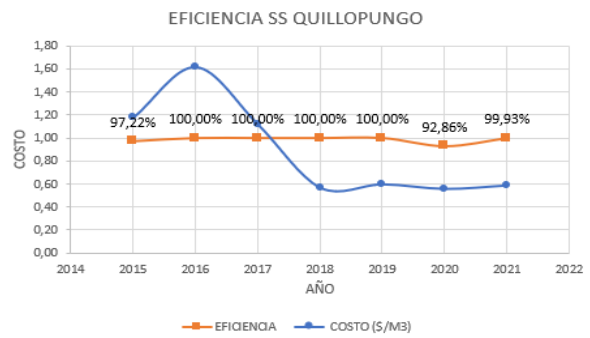
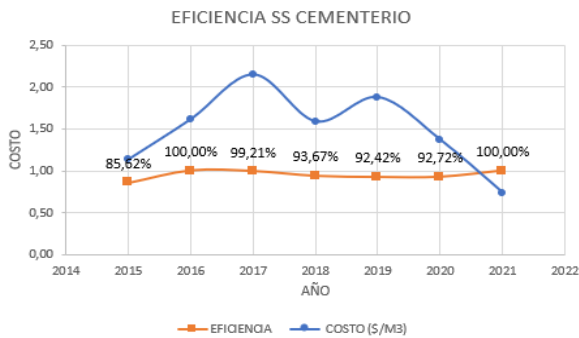
EFICIENCIA DQO MONJAS



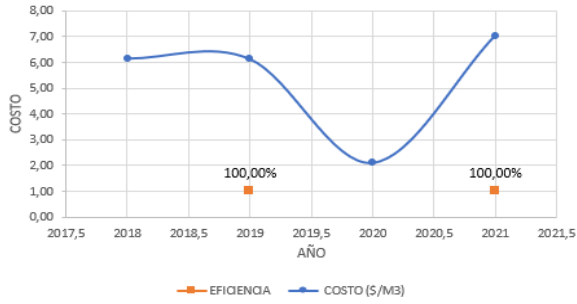
EFICIENCIA DQO LAURELES



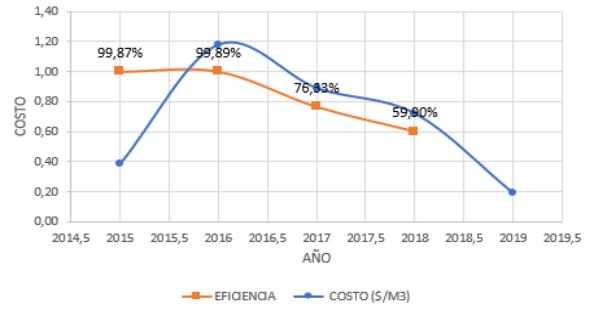
## Eficiencia de Solidos suspendidos vs costos operativos



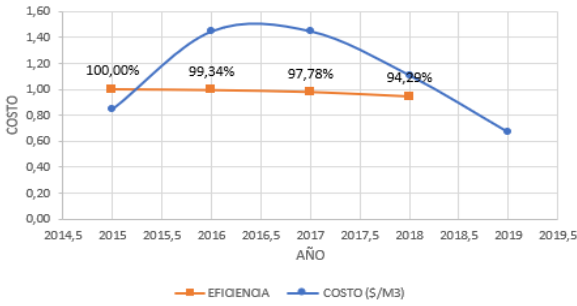
EFICIENCIA SS SANTA BARBARA



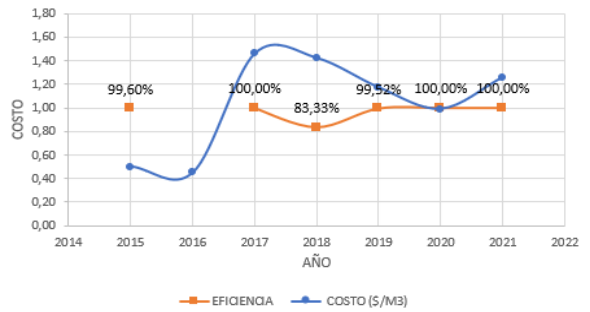
EFICIENCIA SS TARQUI



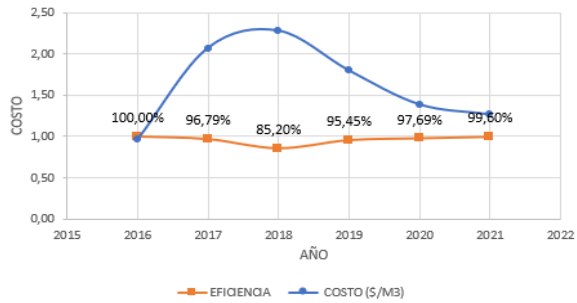
EFICIENCIA SS ESCALERAS



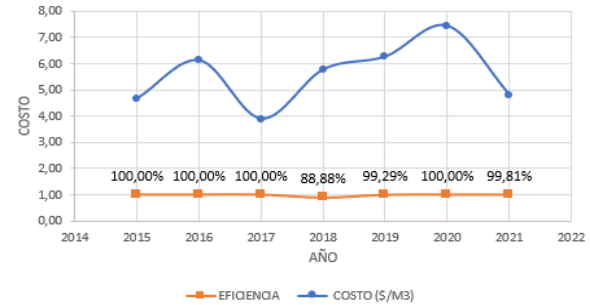
EFICIENCIA SS ACCHAYACU



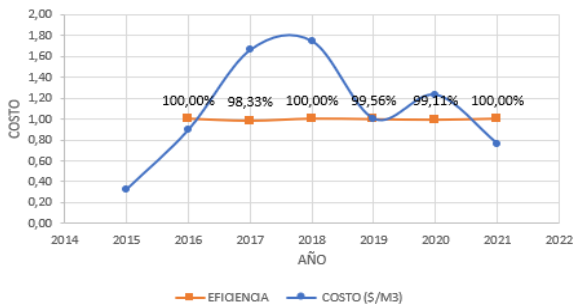
EFICIENCIA SS TUTUPALI



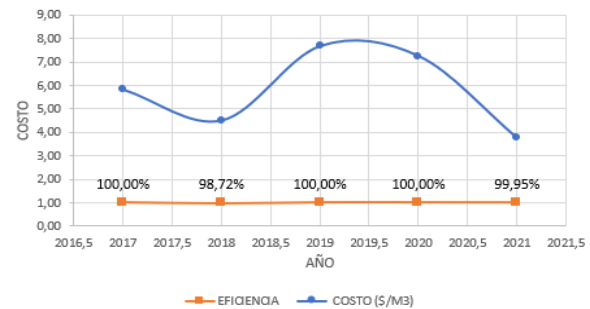
EFICIENCIA SS MACAS



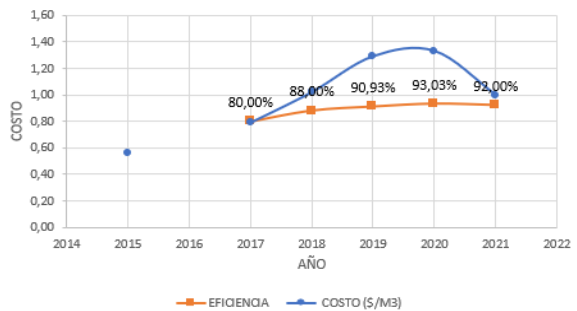
EFICIENCIA SS BELLA UNION



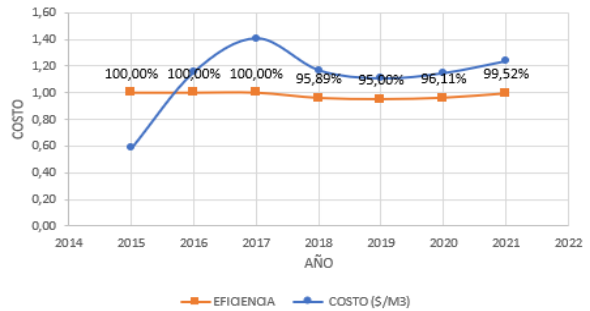
EFICIENCIA SS CHAUCHA



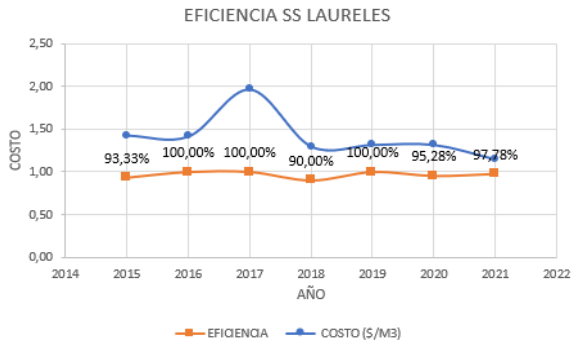
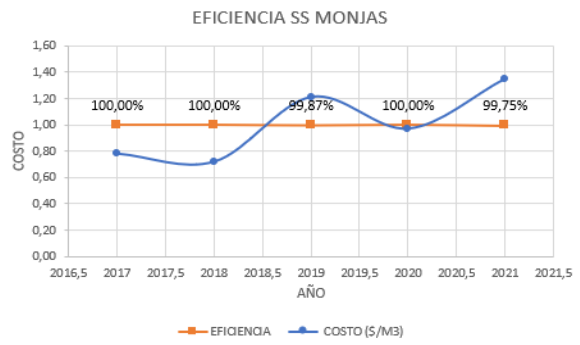
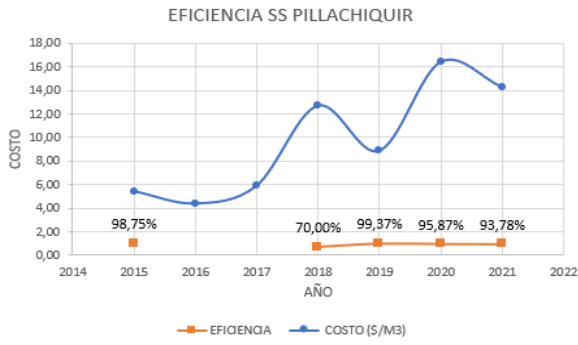
EFICIENCIA SS MOLLETURO



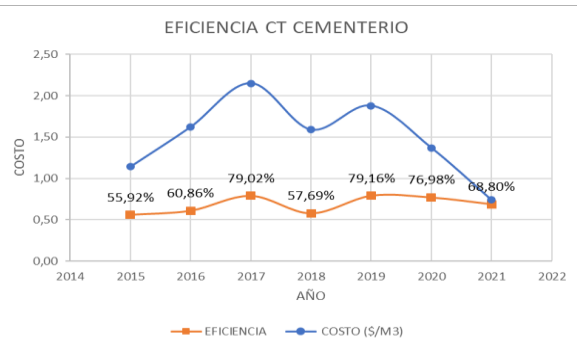
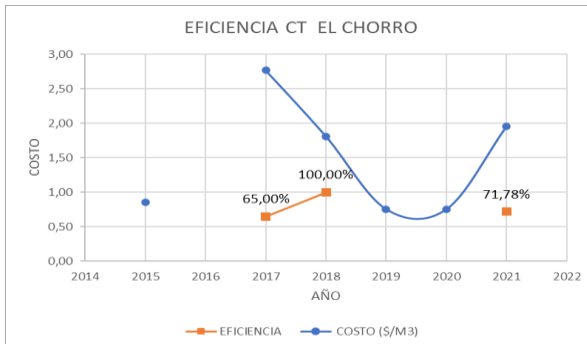
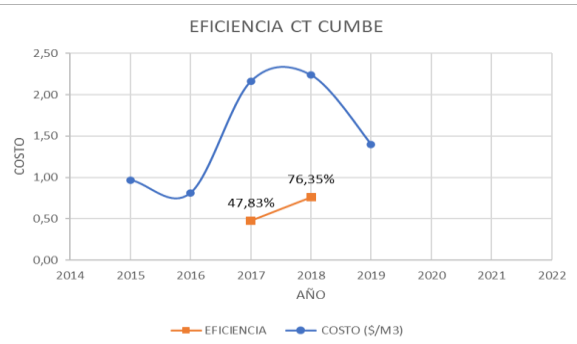
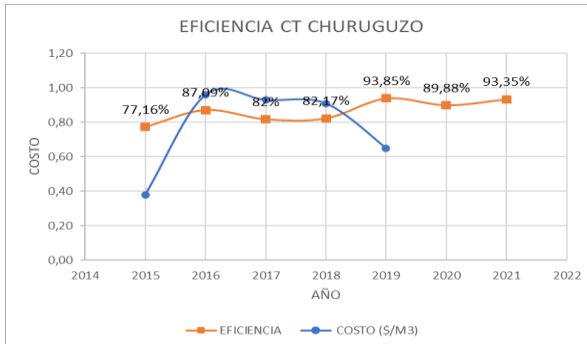
EFICIENCIA SS GUABO

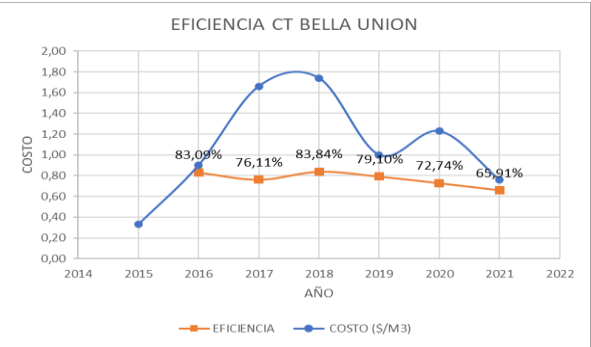
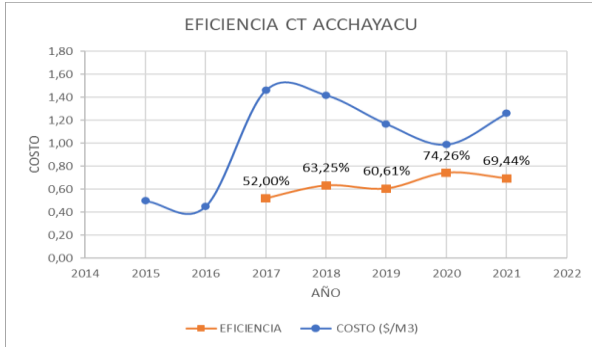
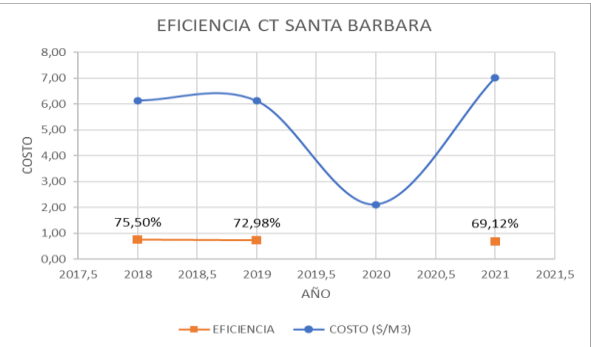
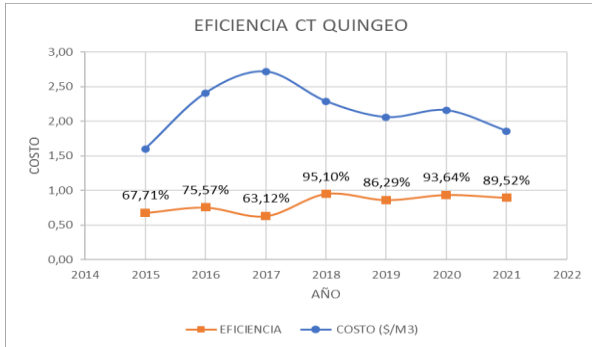
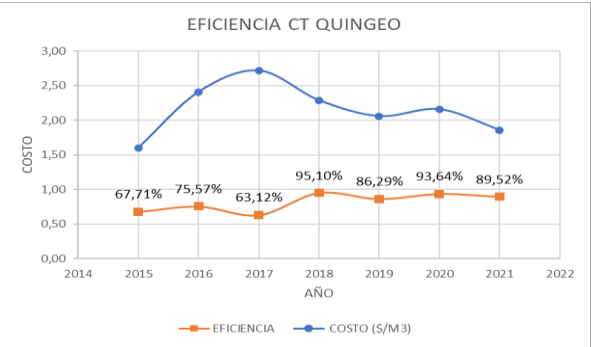
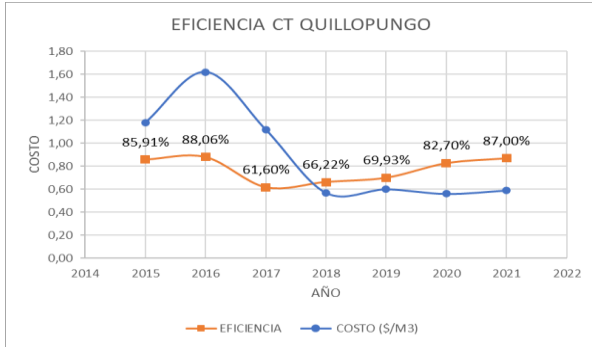
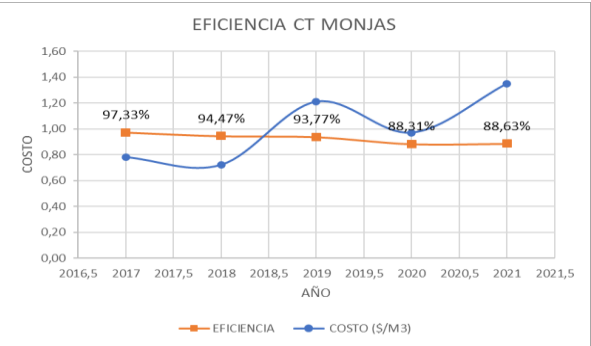
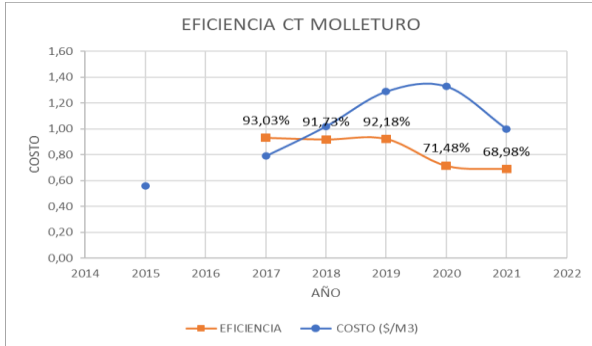
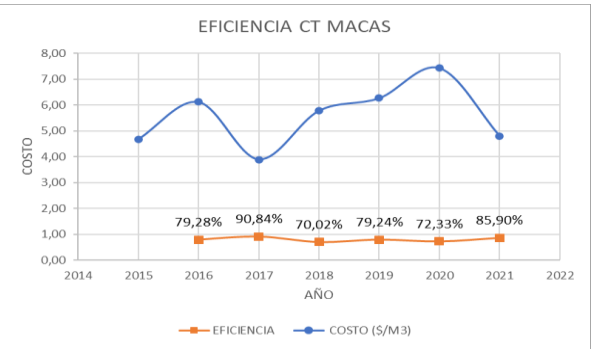
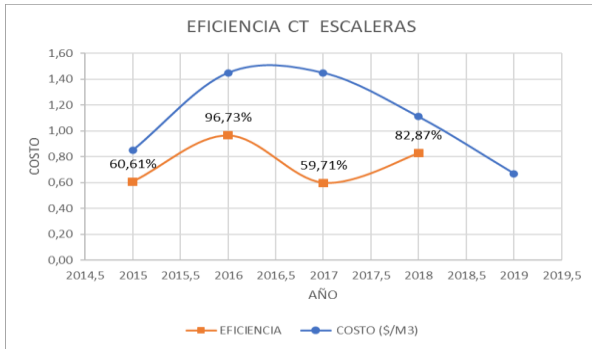


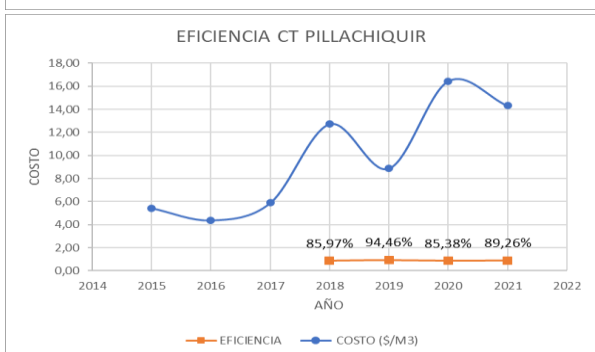
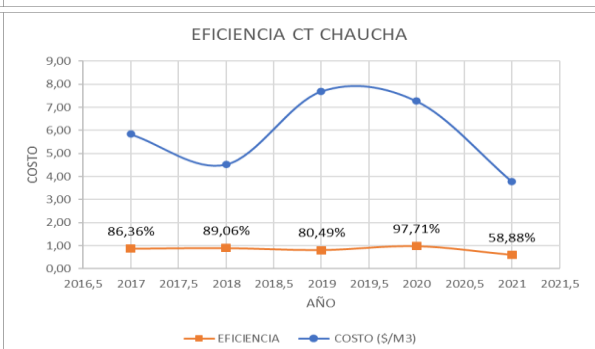
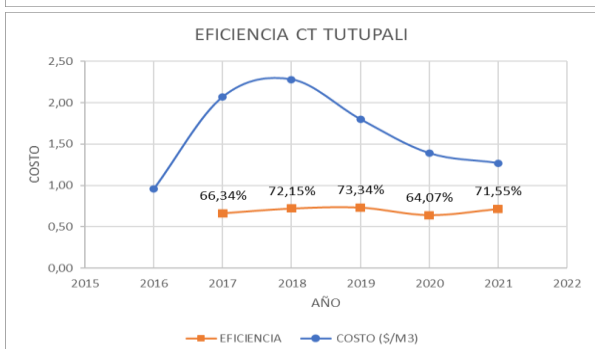
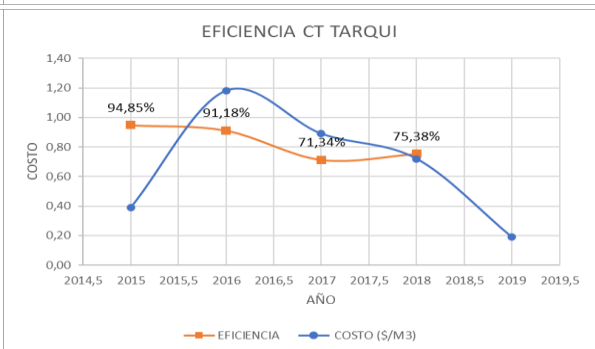
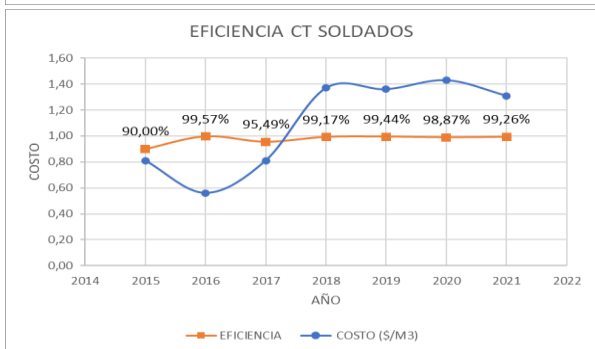
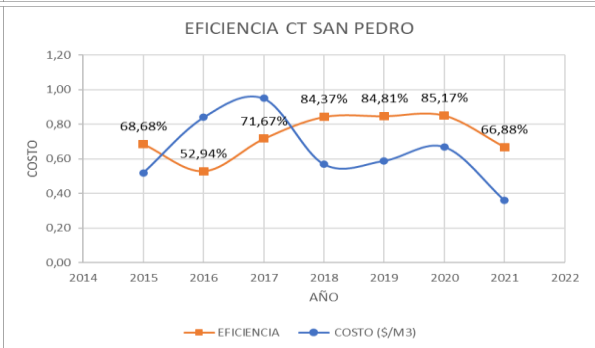
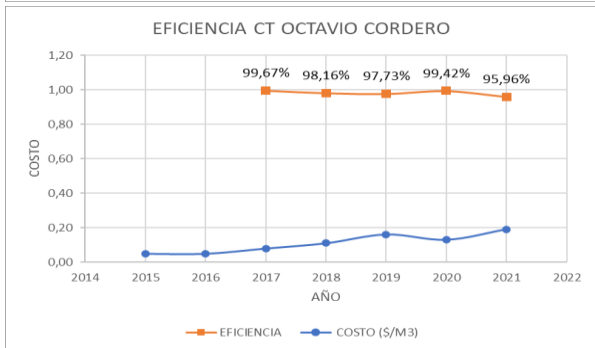
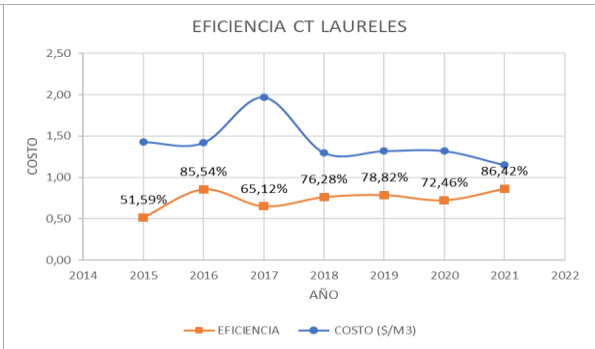
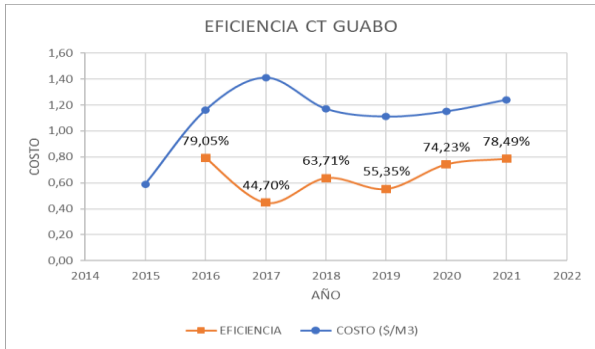




## Eficiencia de Coliformes totales vs costos operativos

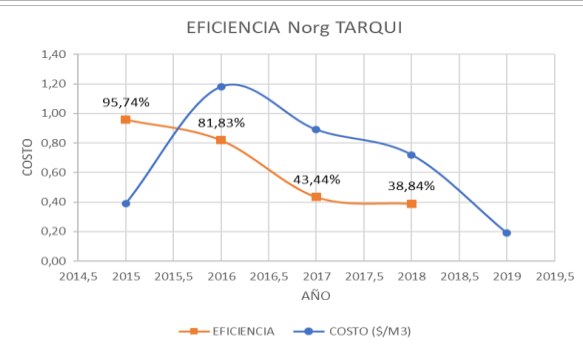
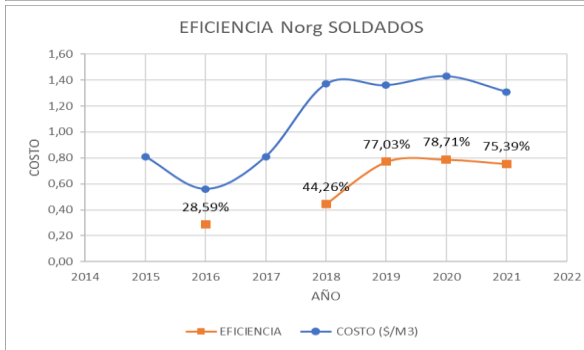
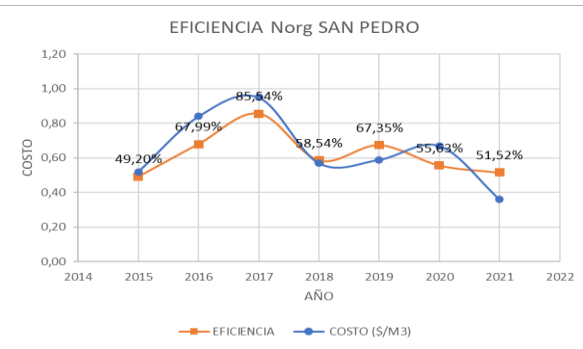
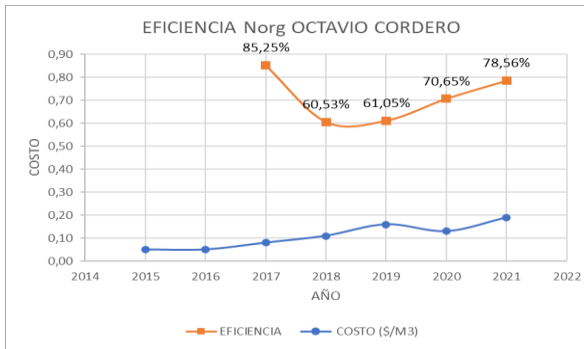
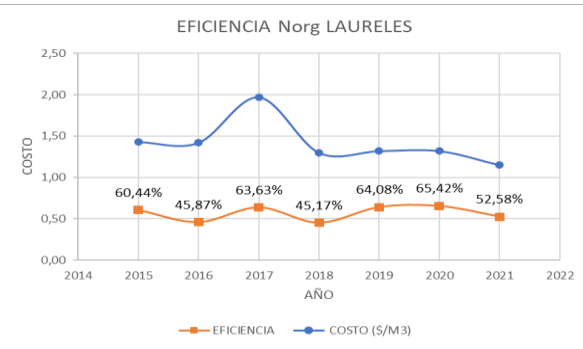
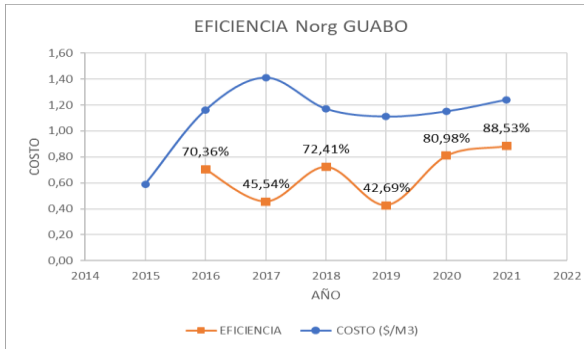
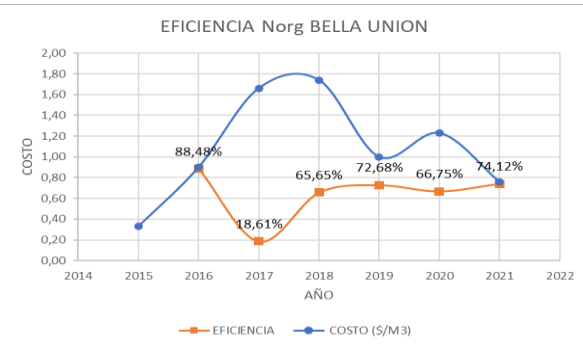
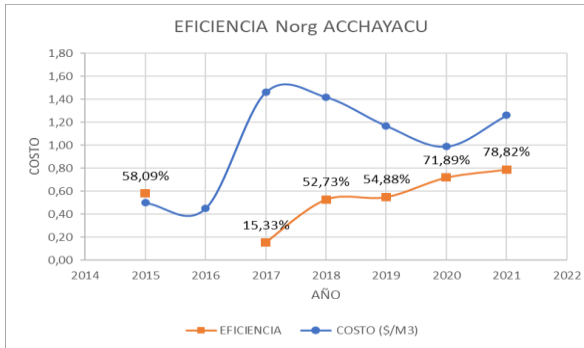
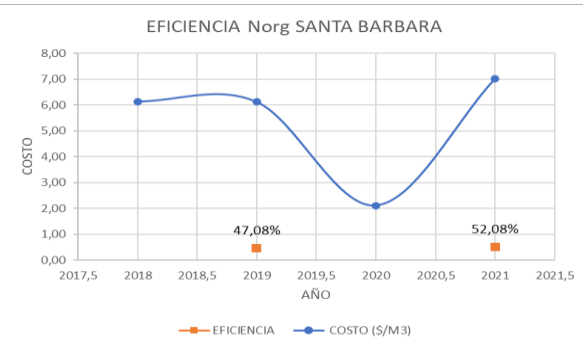
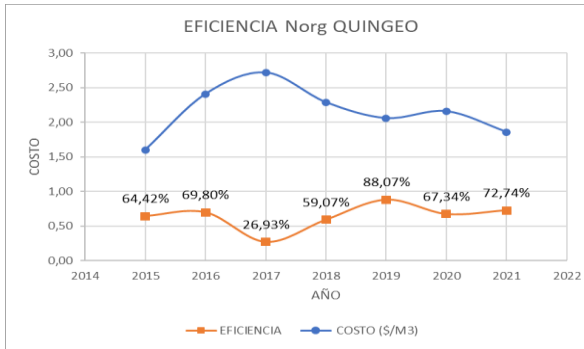


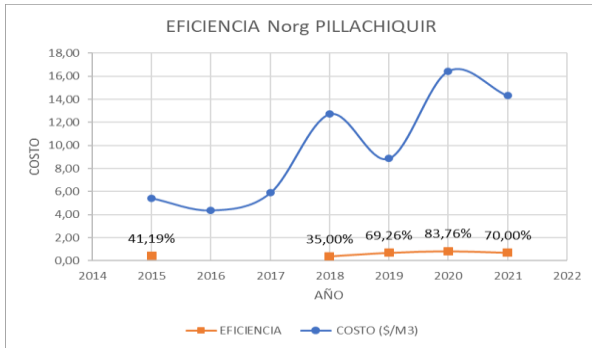
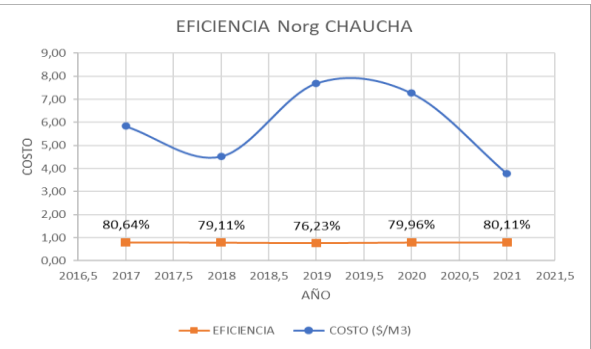
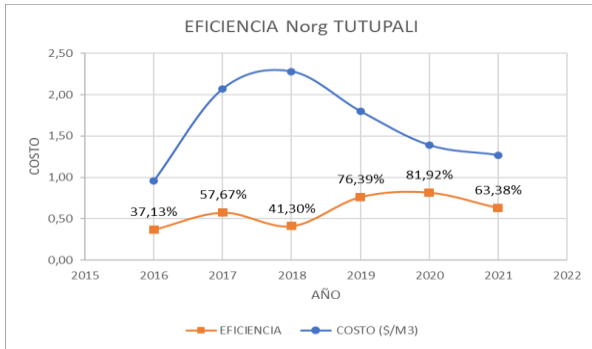




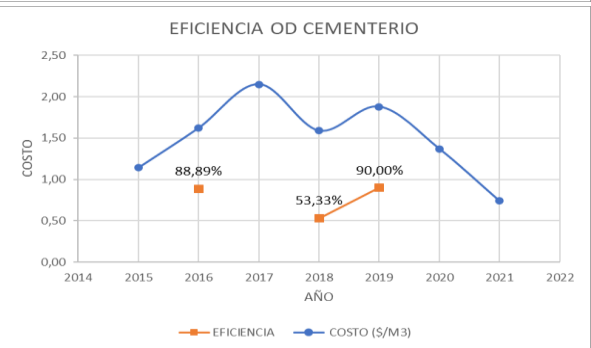
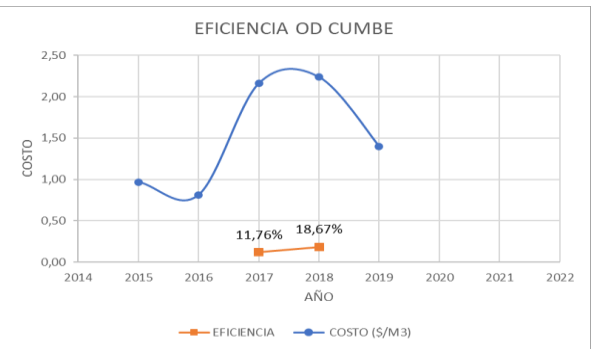
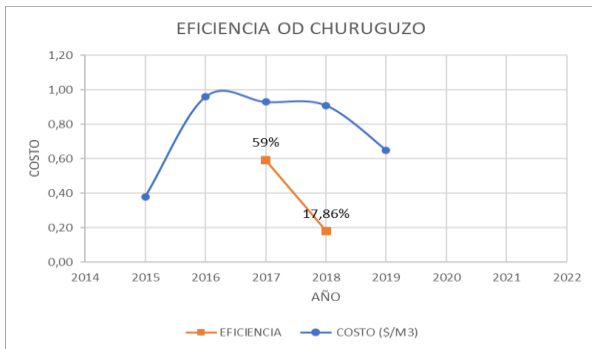
## Eficiencia de nitrógeno orgánico vs costos operativos

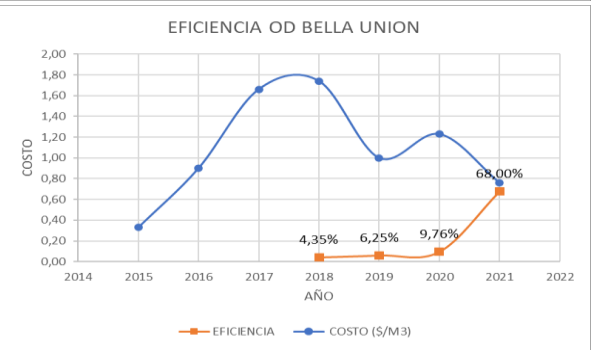
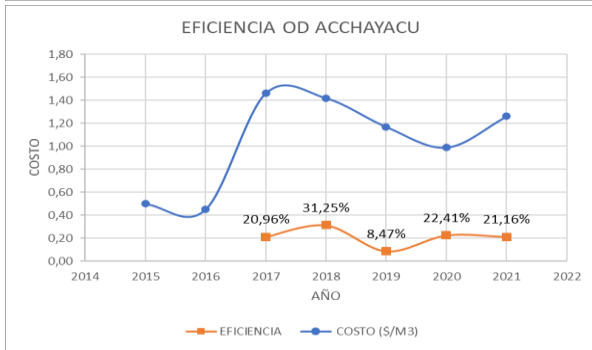
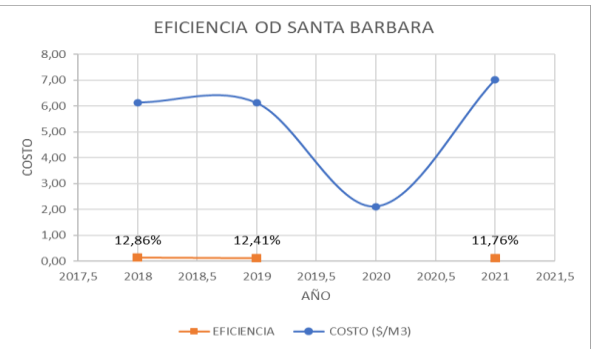
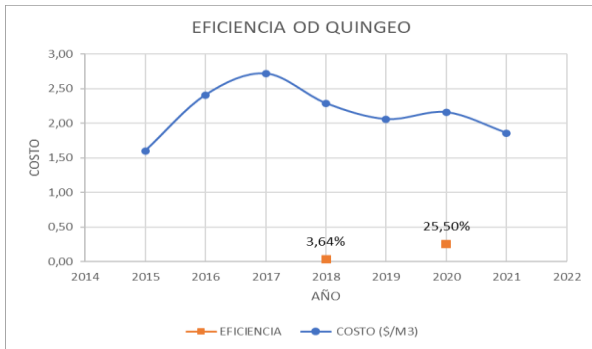
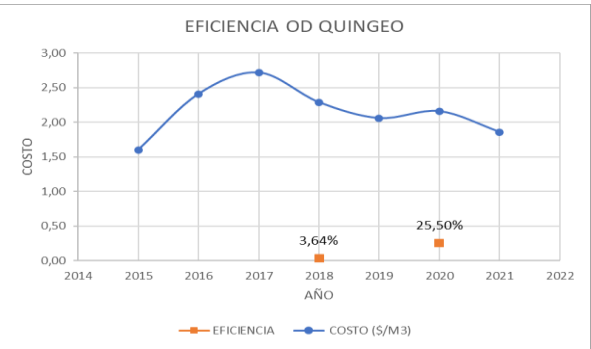
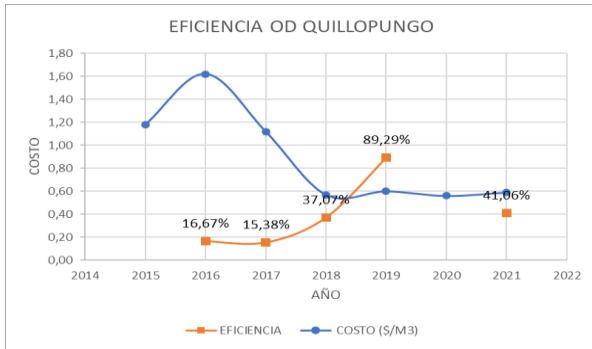
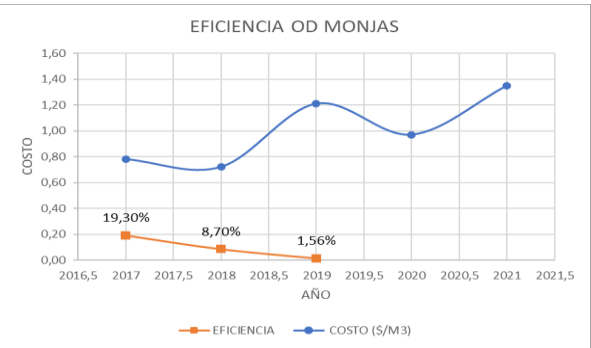
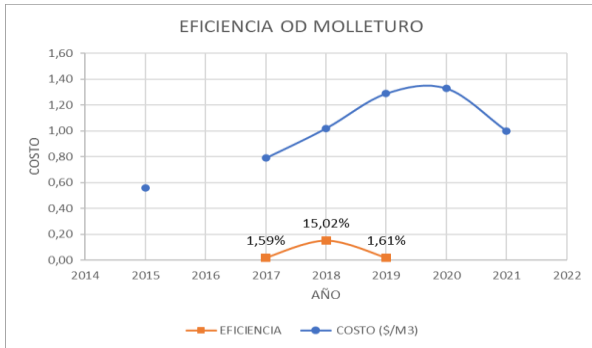
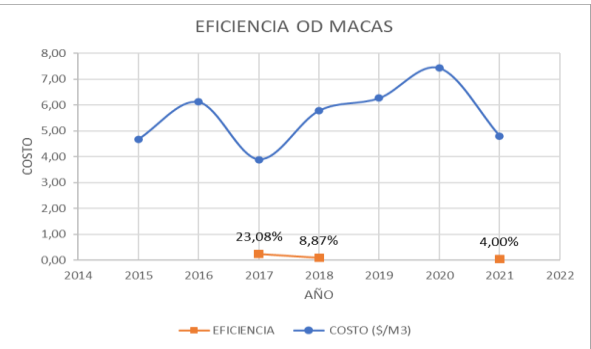
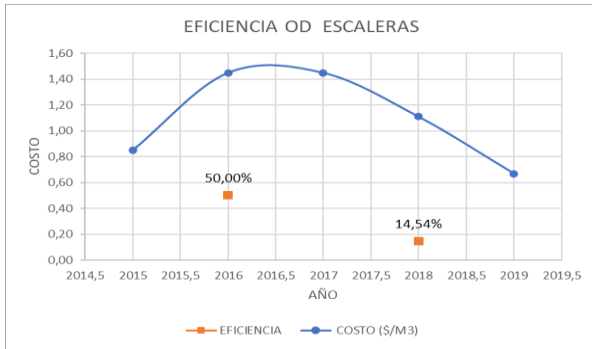


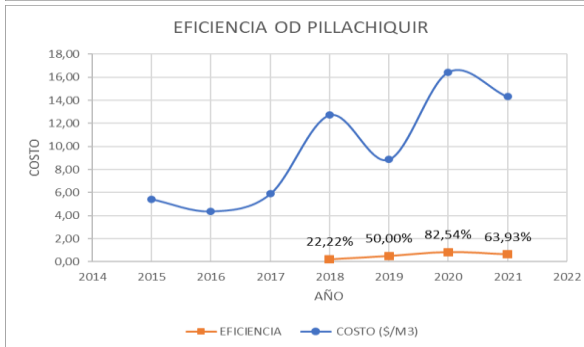
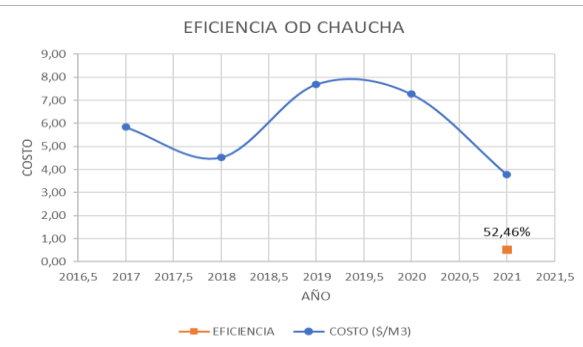
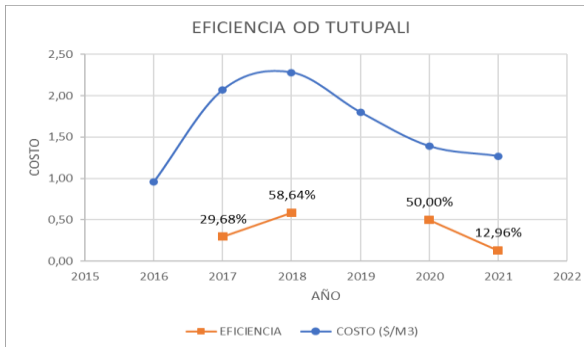
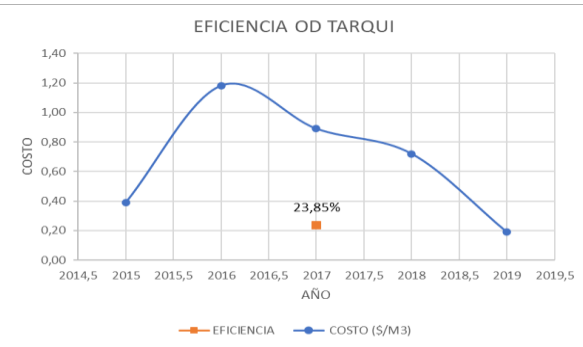
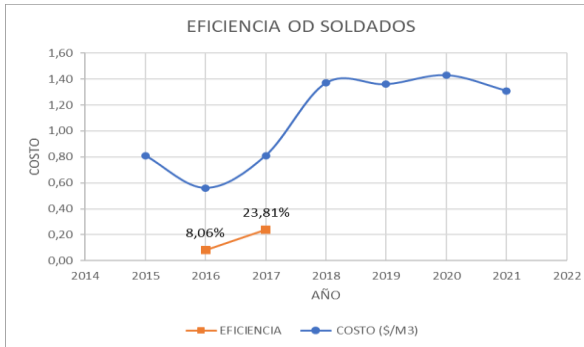
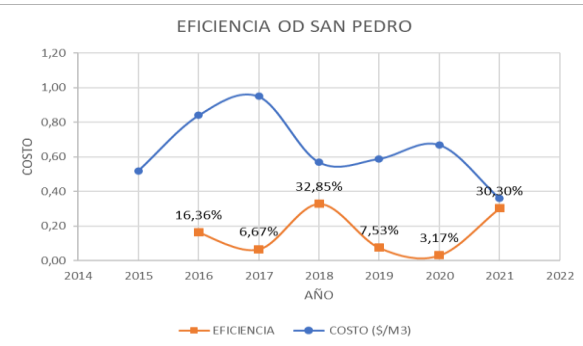
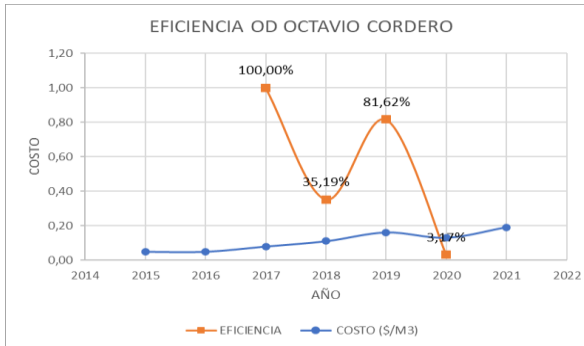
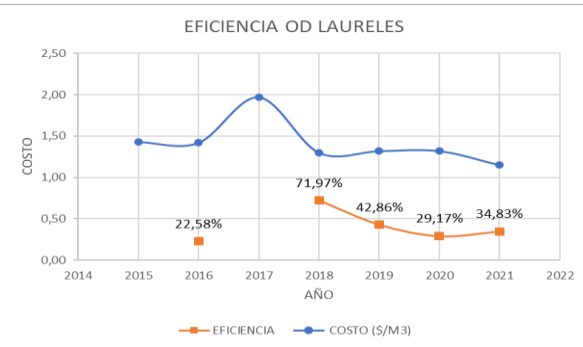
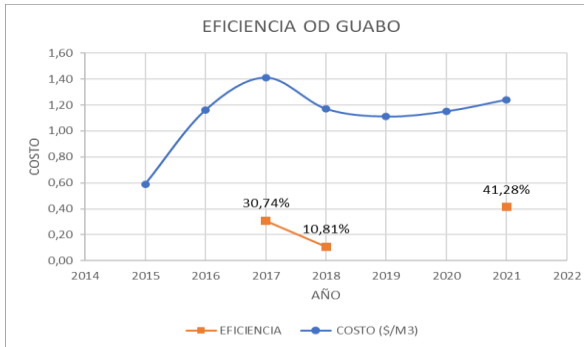




## Eficiencia de oxígeno disuelto vs costos operativos



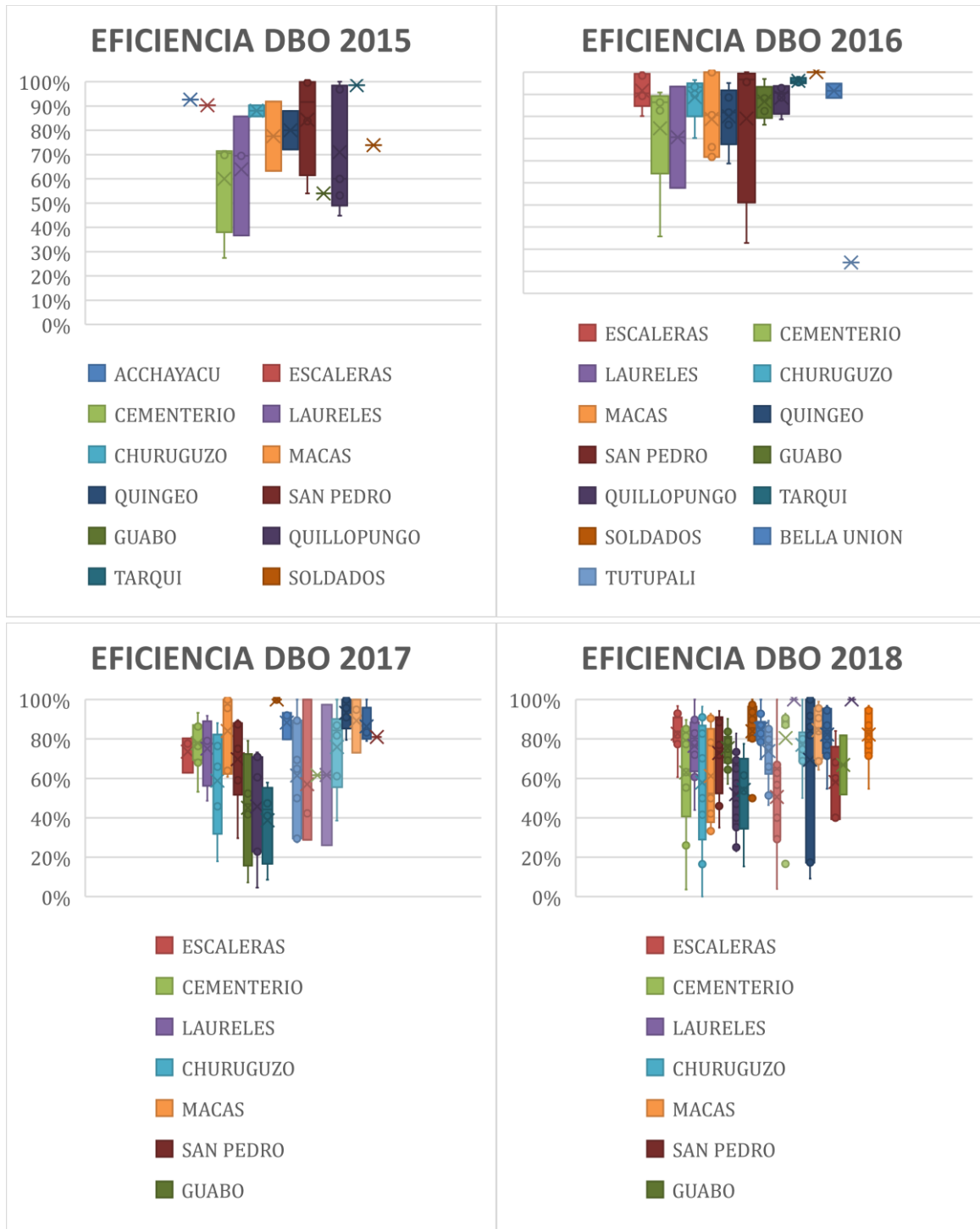




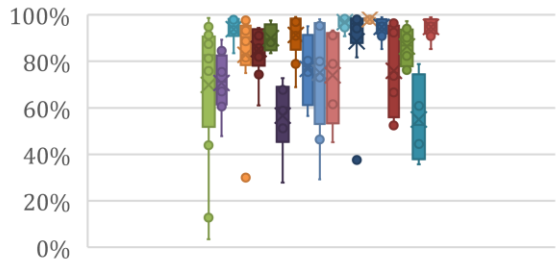


**Anexo 5. Gráficos de eficiencias de las plantas de tratamiento de agua residual desde el año 2015 hasta el año 2021.**

**Eficiencias DBO**

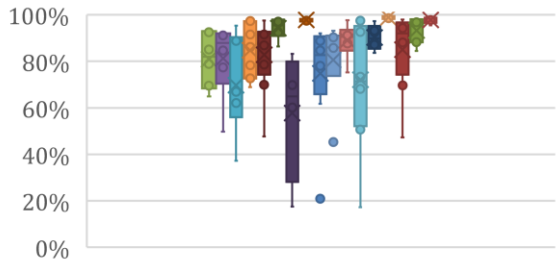


### EFICIENCIA DBO 2019



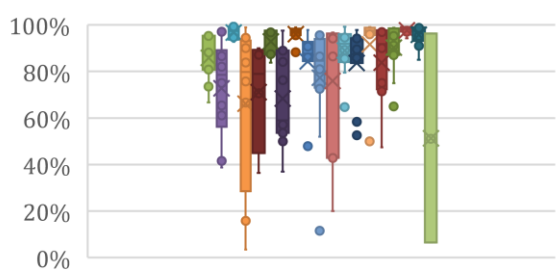
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA DBO 2020



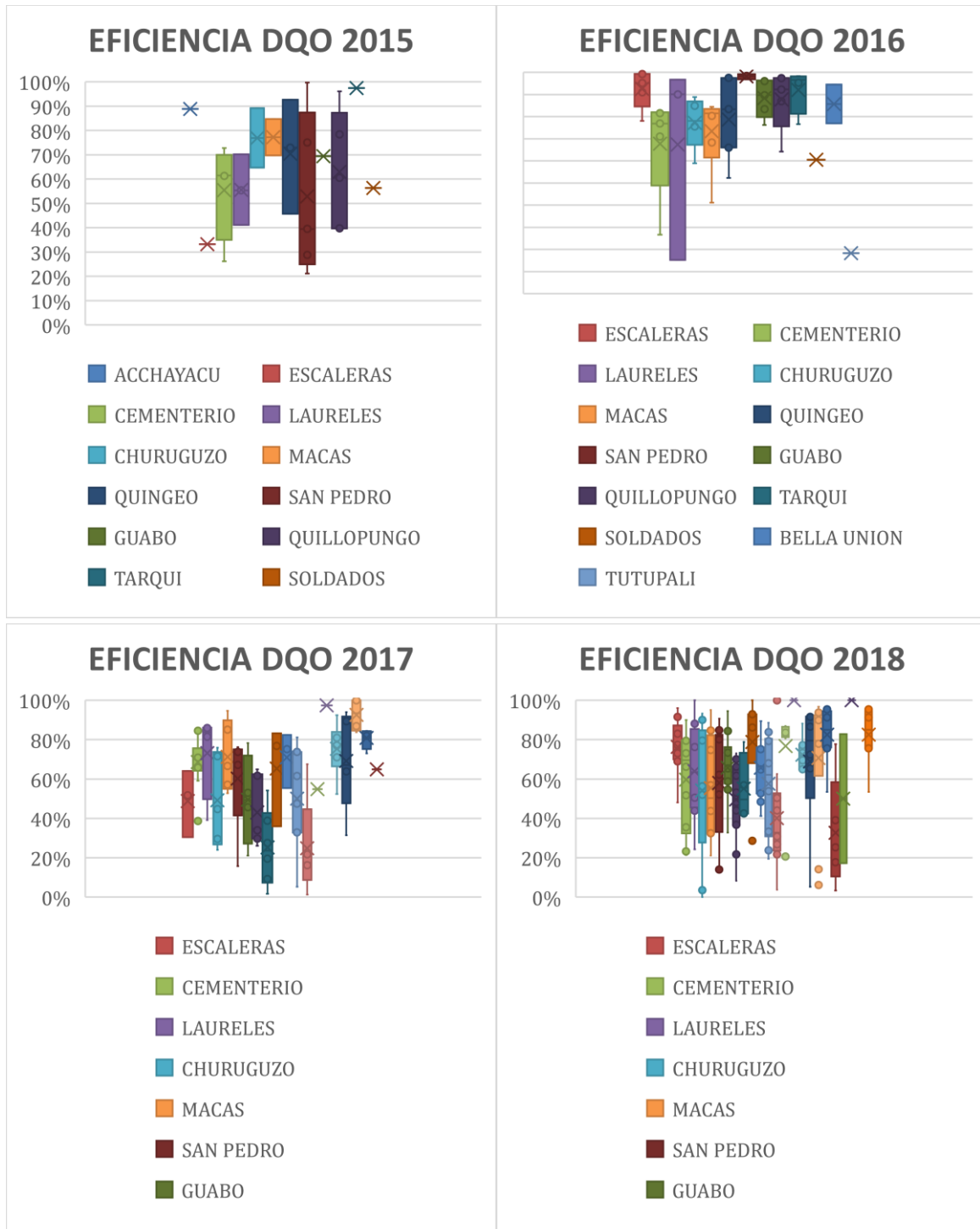
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA DBO 2021

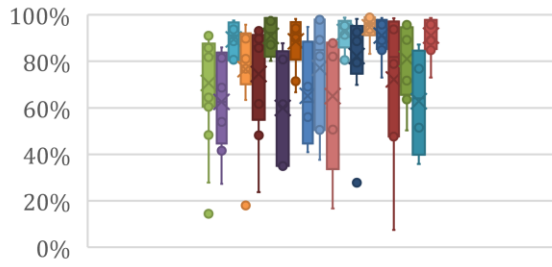


- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

## Eficiencias DQO

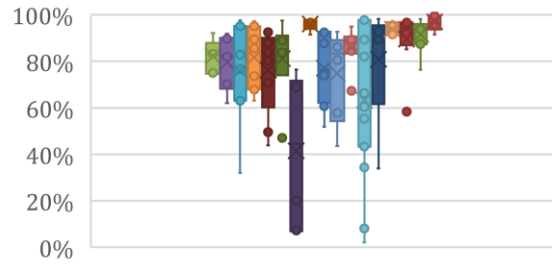


### EFICIENCIA DQO 2019



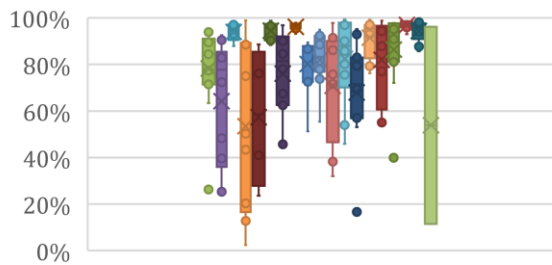
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA DQO 2020



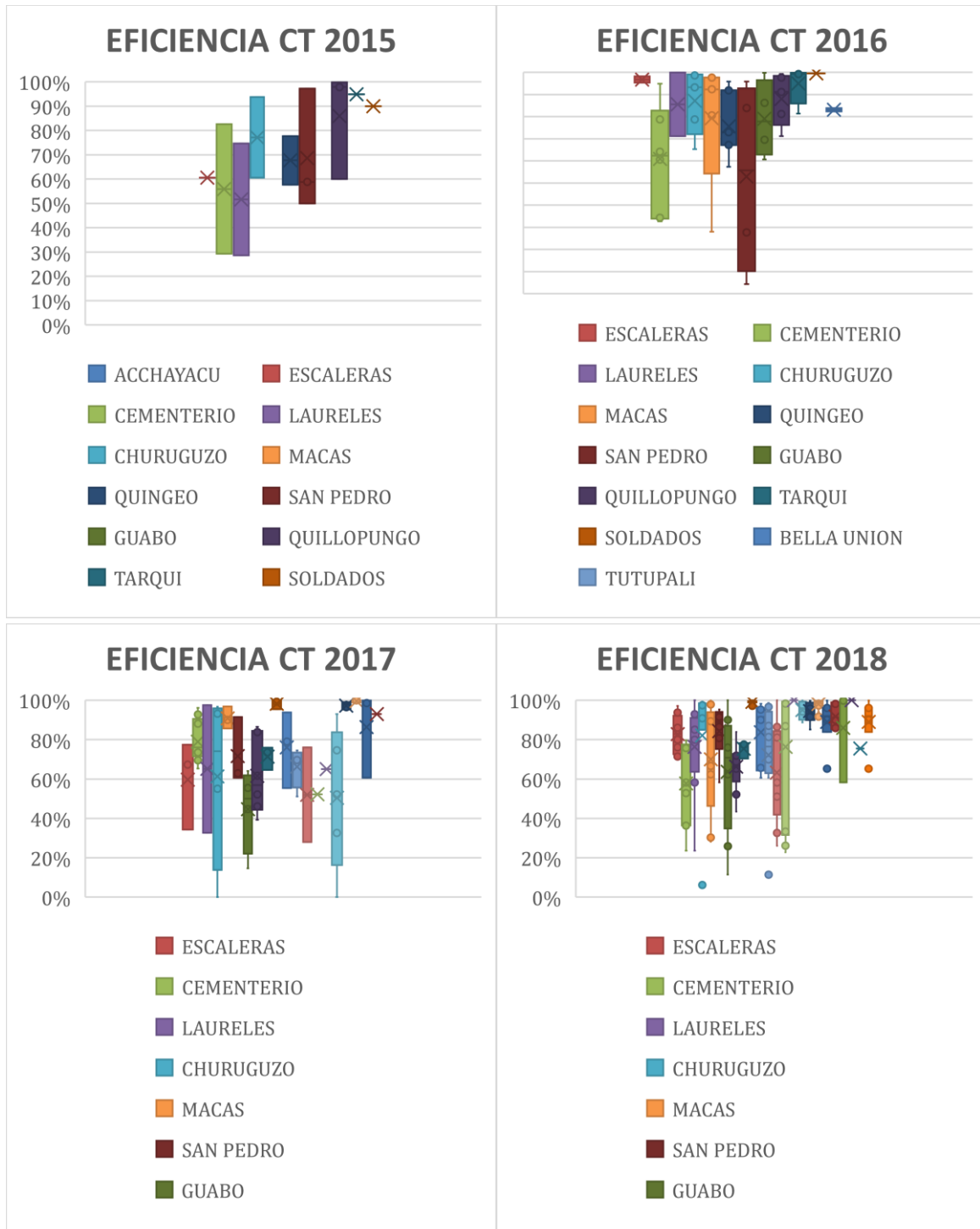
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA DQO 2021

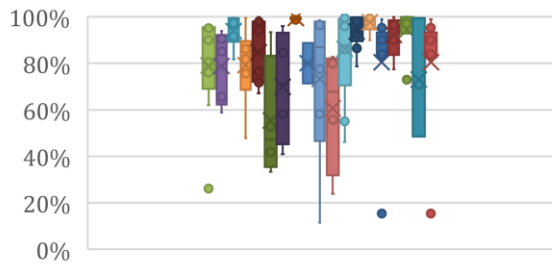


- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

## Eficiencia coliforme totales

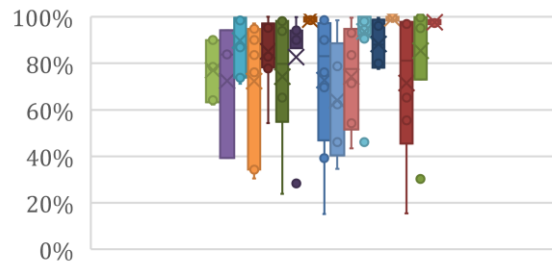


### EFICIENCIA CT 2019



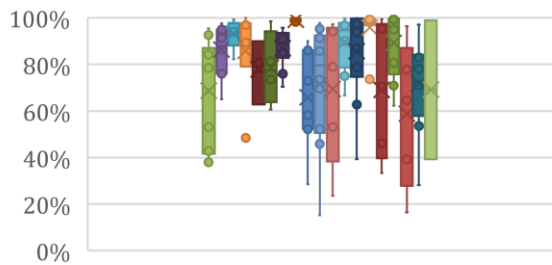
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA CT 2020



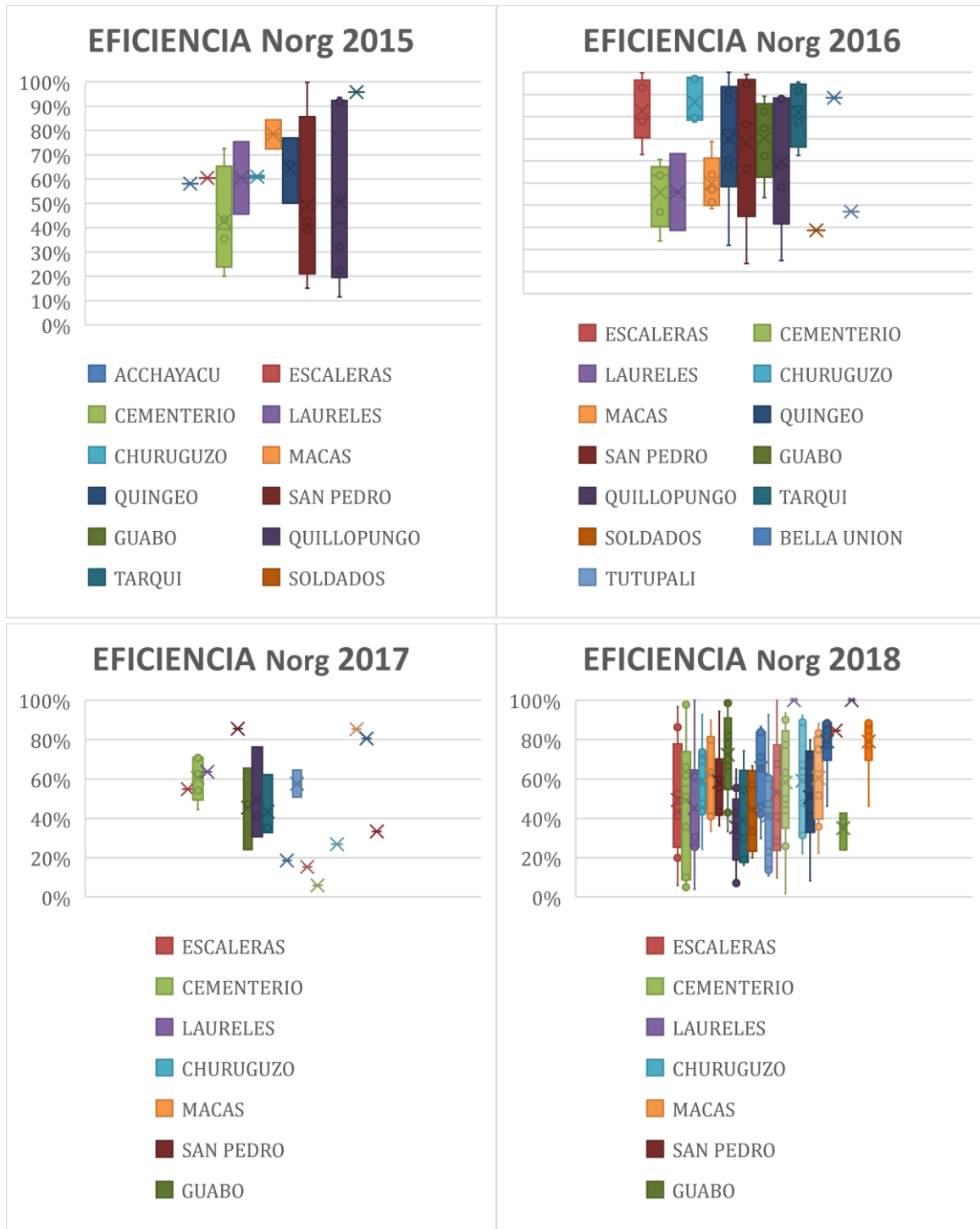
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA CT 2021

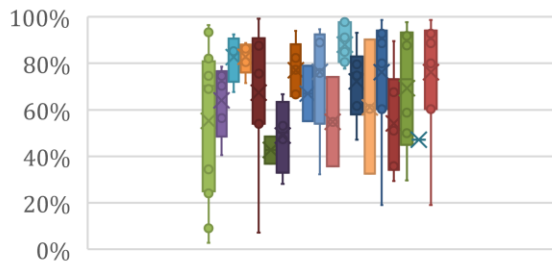


- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

## Eficiencia nitrógeno orgánico

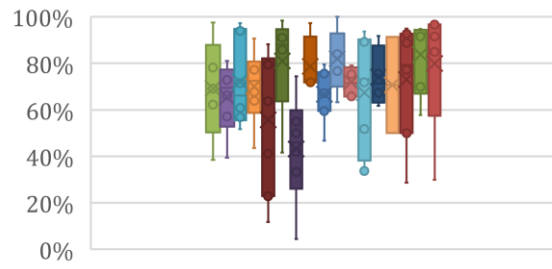


### EFICIENCIA Norg 2019



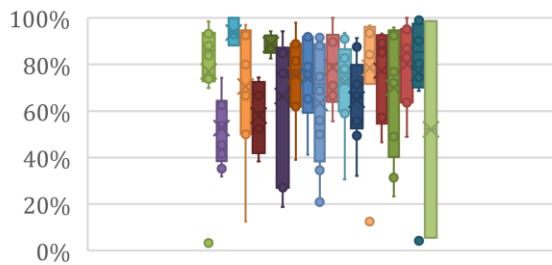
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA Norg 2020



- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

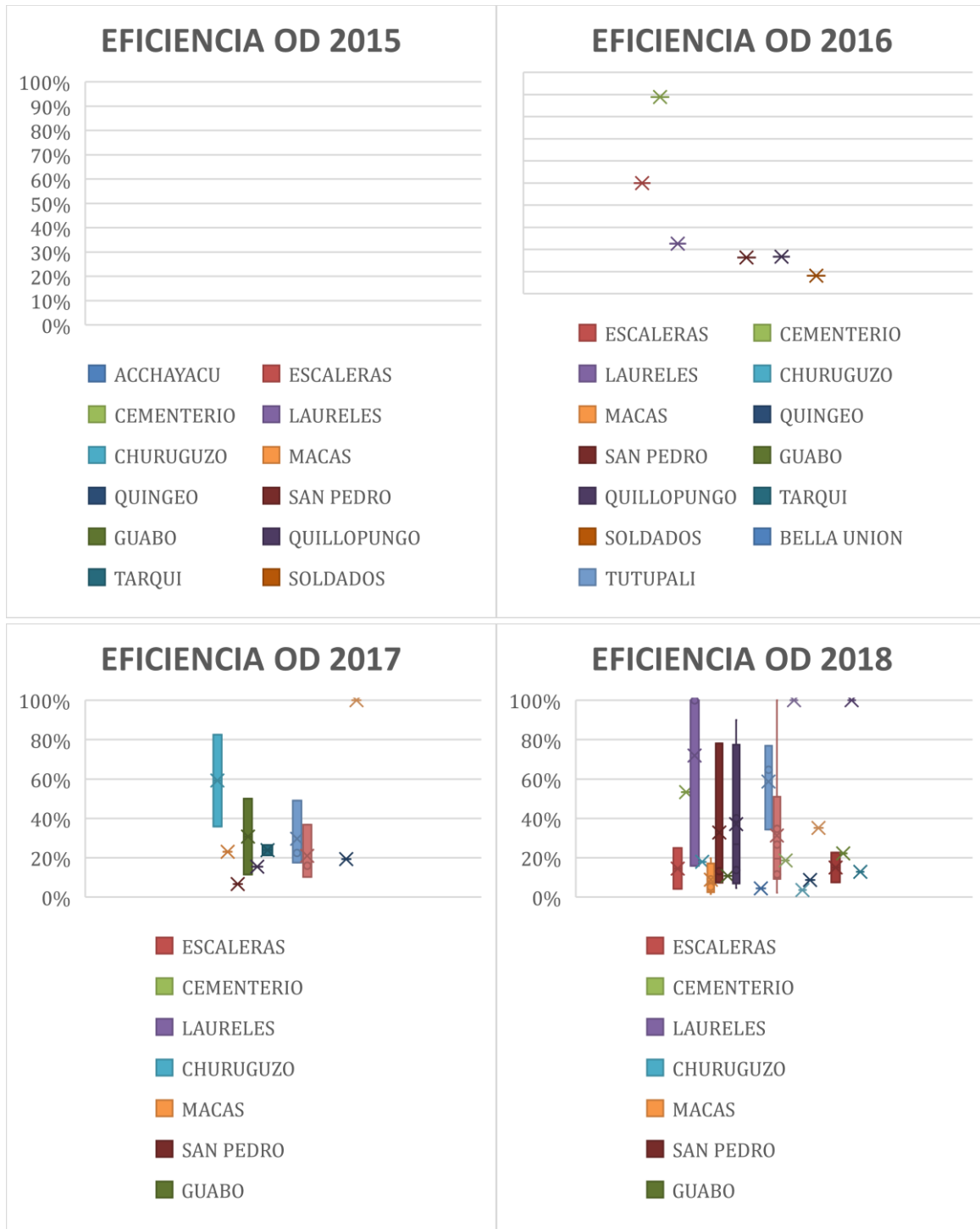
### EFICIENCIA Norg 2021



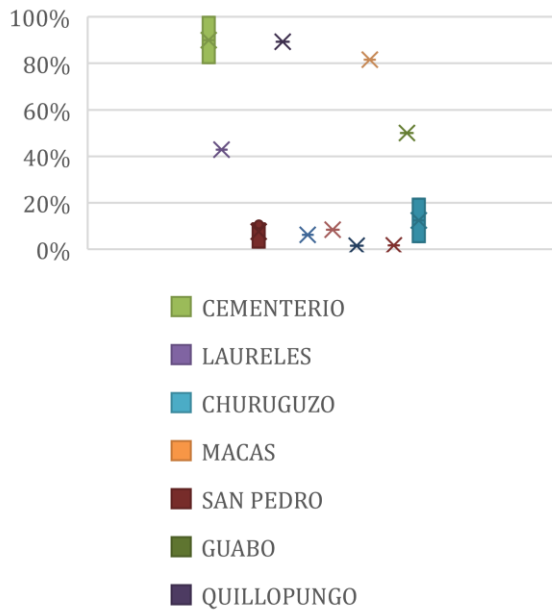
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO



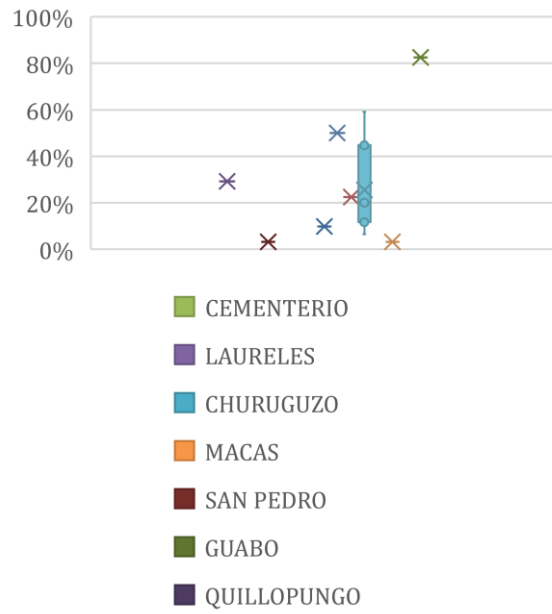
## Eficiencia oxígeno disuelto



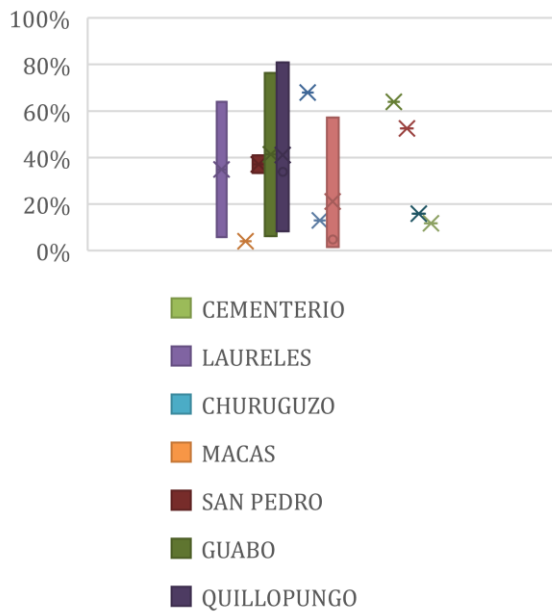
### EFICIENCIA OD 2019



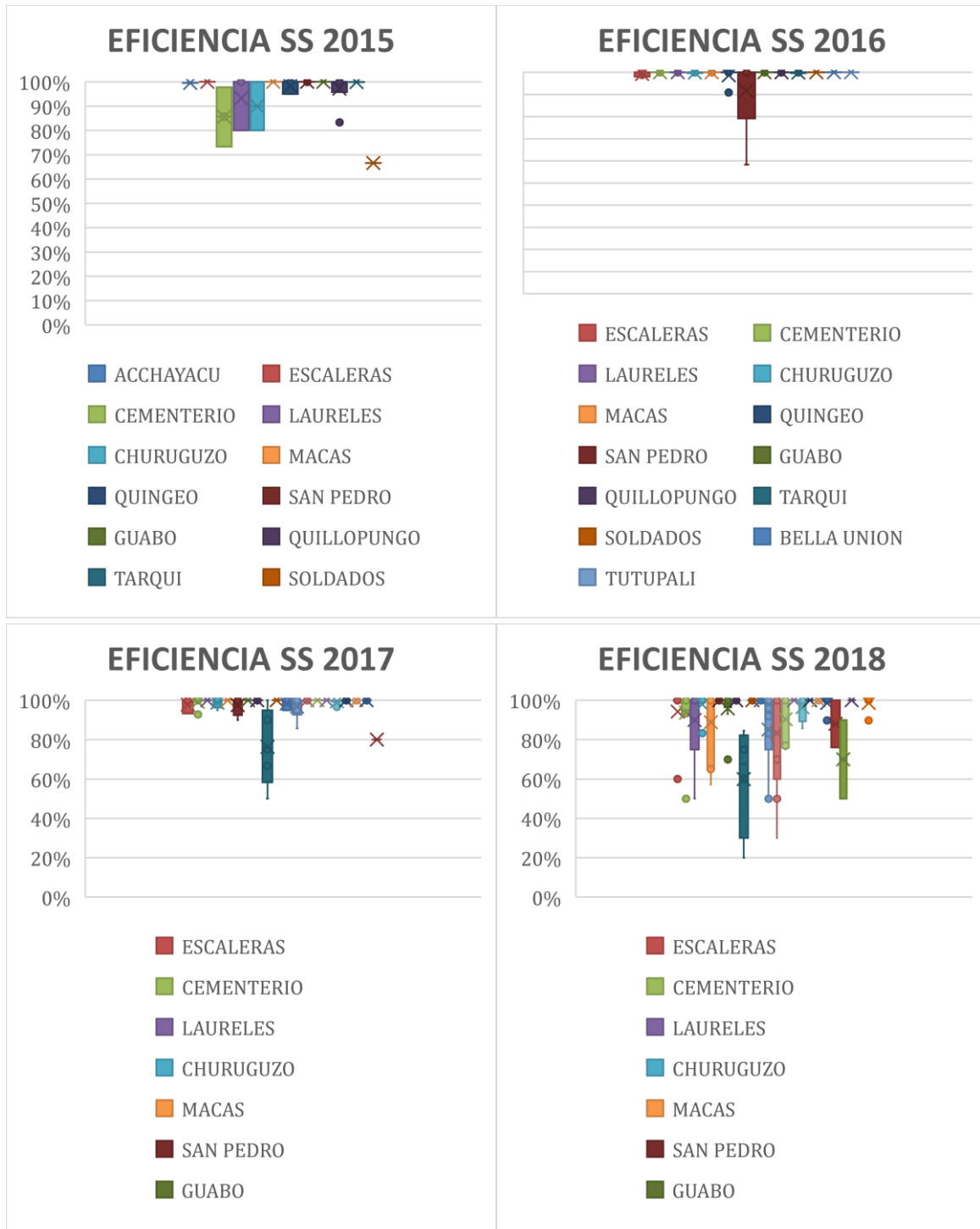
### EFICIENCIA OD 2020



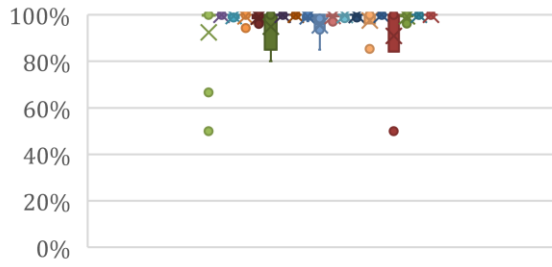
### EFICIENCIA OD 2021



## Eficiencia sólidos suspendidos

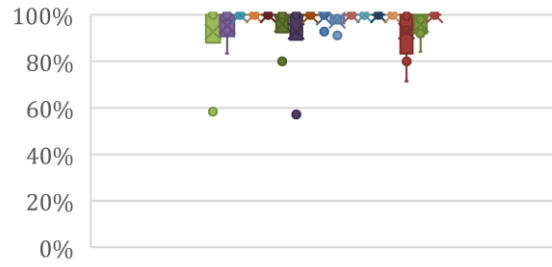


### EFICIENCIA SS 2019



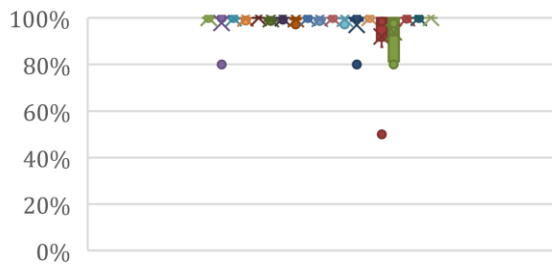
- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA SS 2020



- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

### EFICIENCIA SS 2021



- CEMENTERIO
- LAURELES
- CHURUGUZO
- MACAS
- SAN PEDRO
- GUABO
- QUILLOPUNGO

**Anexo 6. Tabla de costos operativos proyectados hasta el año 2040.**

**Tabla A6.1 Costos anuales de las plantas de tratamiento de agua residual proyectados hasta el año 2040.**

COSTOS PROYECTADOS (\$/AÑO)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
CEMENTERIO	3587,92	3389,78	3191,64	2993,50	2795,36	2597,22	2399,08	2200,94	2002,80	1804,66	1606,52	1408,38	1210,24	1012,10	1012,10	1012,10	1012,10	1012,10	1012,10
CHURUGUZO	CERRADA																		
CUMBE	CERRADA																		
EL CHORRO	1822,22	1869,64	1917,06	1964,47	2011,89	2059,31	2106,73	2154,15	2201,57	2248,99	2296,41	2343,83	2391,25	2438,66	2486,08	2533,50	2580,92	2628,34	2675,76
ESCALERAS	CERRADA																		
MACAS	3683,96	3796,14	3908,32	4020,50	4132,68	4244,86	4357,04	4469,22	4581,40	4693,58	4805,76	4917,94	5030,12	5142,30	5254,48	5366,66	5478,84	5591,02	5703,20
MOLLETURO	3996,36	4335,24	4674,12	5013,00	5351,88	5690,76	6029,64	6368,52	6707,40	7046,28	7385,16	7724,04	8062,92	8401,80	8740,68	9079,56	9418,44	9757,32	10096,20
MONJAS	4568,24	5017,66	5467,08	5916,50	6365,92	6815,34	7264,76	7714,18	8163,60	8613,02	9062,44	9511,86	9961,28	10410,70	10860,12	11309,54	11758,96	12208,38	12657,80
QUILLOPUNGO	2534,39	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89	1108,89
QUINGEO	4421,74	4394,60	4367,45	4340,30	4313,15	4286,00	4258,86	4231,71	4204,56	4177,41	4150,26	4123,12	4095,97	4068,82	4041,67	4014,52	3987,38	3960,23	3933,08
STA BARBARA	2477,54	2434,61	2391,68	2348,75	2305,82	2262,89	2219,96	2177,03	2134,10	2091,17	2048,24	2005,31	1962,38	1919,45	1876,52	1833,59	1790,66	1747,73	1704,80
ACCHAYACU	4790,64	5148,26	5505,88	5863,50	6221,12	6578,74	6936,36	7293,98	7651,60	8009,22	8366,84	8724,46	9082,08	9439,70	9797,32	10154,94	10512,56	10870,18	11227,80
BELLA UNION	3730,42	3874,03	4017,64	4161,25	4304,86	4448,47	4592,08	4735,69	4879,30	5022,91	5166,52	5310,13	5453,74	5597,35	5740,96	5884,57	6028,18	6171,79	6315,40
GUABO	3389,96	3548,14	3706,32	3864,50	4022,68	4180,86	4339,04	4497,22	4655,40	4813,58	4971,76	5129,94	5288,12	5446,30	5604,48	5762,66	5920,84	6079,02	6237,20
LAURELES	3099,18	2943,37	2787,56	2631,75	2475,94	2320,13	2164,32	2008,51	1852,70	1696,89	1541,08	1385,27	1229,46	1073,65	917,84	762,03	606,22	450,41	294,60
OCTAVIO CORDERO	6235,27	7007,56	7779,85	8552,14	9324,43	10096,72	10869,01	11641,30	12413,59	13185,88	13958,17	14730,46	15502,75	16275,04	17047,33	17819,62	18591,91	19364,20	20136,49
SAN PEDRO	2628,74	2407,91	2187,08	1966,25	1745,42	1524,59	1303,76	1082,93	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92	1082,92
SOLDADOS	3444,88	3727,92	4010,96	4294,00	4577,04	4860,08	5143,12	5426,16	5709,20	5992,24	6275,28	6558,32	6841,36	7124,40	7407,44	7690,48	7973,52	8256,56	8539,60
TARQUI	CERRADA																		
TUTUPALI	5061,78	5349,27	5636,76	5924,25	6211,74	6499,23	6786,72	7074,21	7361,70	7649,19	7936,68	8224,17	8511,66	8799,15	9086,64	9374,13	9661,62	9949,11	10236,60
CHAUCHA	3740,04	4101,36	4462,68	4824,00	5185,32	5546,64	5907,96	6269,28	6630,60	6991,92	7353,24	7714,56	8075,88	8437,20	8798,52	9159,84	9521,16	9882,48	10243,80
PILLACHIQUIR	3478,40	3863,60	4248,80	4634,00	5019,20	5404,40	5789,60	6174,80	6560,00	6945,20	7330,40	7715,60	8100,80	8486,00	8871,20	9256,40	9641,60	10026,80	10412,00

**Tabla A6.2 Costos por metro cúbico de las plantas de tratamiento de agua residual proyectados hasta el año 2040.**

COSTOS PROYECTADOS (\$/m3)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
CEMENTERIO	1,22	1,15	1,10	1,02	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67	0,61	0,54	0,47	0,41	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
CHURUGUZO	CERRADA																		
CUMBE	CERRADA																		
EL CHORRO	1,53	1,57	1,60	1,64	1,67	1,71	1,74	1,77	1,80	1,84	1,86	1,89	1,92	1,96	1,98	2,02	2,05	2,08	2,10
ESCALERAS	CERRADA																		
MACAS	6,35	6,55	6,74	6,93	7,13	7,32	7,51	7,71	7,90	8,08	8,27	8,46	8,66	8,85	9,04	9,24	9,38	9,57	9,72
MOLLETURO	1,42	1,54	1,66	1,78	1,90	2,02	2,14	2,26	2,39	2,51	2,63	2,75	2,87	2,99	3,11	3,23	3,35	3,47	3,59
MONJAS	1,42	1,56	1,70	1,84	1,98	2,12	2,26	2,39	2,53	2,67	2,81	2,95	3,09	3,23	3,37	3,51	3,65	3,79	3,93
QUILLOPUNGO	0,27	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
QUINGEO	2,10	2,09	2,08	2,07	2,05	2,04	2,03	2,01	2,00	1,99	1,97	1,96	1,95	1,94	1,92	1,91	1,90	1,88	1,87
STA BARBARA	5,11	5,02	4,93	4,84	4,75	4,64	4,55	4,46	4,37	4,29	4,20	4,08	3,99	3,90	3,81	3,73	3,62	3,53	3,44
ACCHAYACU	1,48	1,59	1,70	1,81	1,92	2,03	2,14	2,25	2,36	2,48	2,59	2,70	2,81	2,92	3,03	3,15	3,26	3,37	3,48
BELLA UNION	1,27	1,31	1,35	1,40	1,44	1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,68	1,72	1,75	1,79	1,83	1,87	1,90	1,94	1,97
GUABO	1,36	1,40	1,46	1,51	1,57	1,63	1,68	1,72	1,78	1,83	1,89	1,94	1,98	2,03	2,07	2,12	2,16	2,21	2,26
LAURELES	1,18	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,64	0,58	0,52	0,46	0,40	0,34	0,28	0,23	0,17	0,11
OCTAVIO CORDERO	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44	0,47	0,49	0,52	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67
SAN PEDRO	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
SOLDADOS	1,63	1,77	1,90	2,03	2,17	2,30	2,44	2,57	2,70	2,84	2,97	3,11	3,24	3,37	3,51	3,64	3,78	3,91	4,05
TARQUI	CERRADA																		
TUTUPALI	1,86	1,94	2,04	2,12	2,21	2,30	2,38	2,47	2,54	2,62	2,71	2,78	2,83	2,91	2,97	3,04	3,09	3,16	3,22
CHAUCHA	7,48	8,20	8,93	9,65	10,37	11,09	11,82	12,54	13,26	13,98	14,71	15,43	16,15	16,87	17,60	18,32	19,04	19,76	20,49
PILLACHIQUIR	17,39	19,32	21,24	23,17	25,10	27,02	28,95	30,87	32,80	34,73	36,65	38,58	40,50	42,43	44,36	46,28	48,21	50,13	52,06