



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

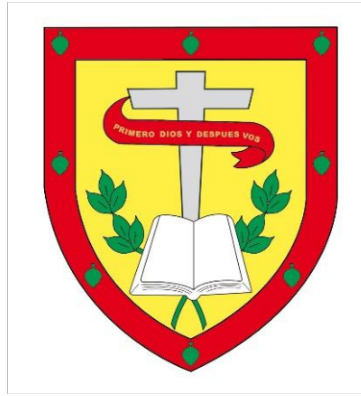
**DETERMINACIÓN DE UN PROCESO ANALÍTICO PARA
COMPLEMENTAR EL CONTROL DE CALIDAD DEL
EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES, CASO PILOTO PTAR
UCUBAMBA**

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

AUTOR: JUAN JOSÉ IÑIGUEZ CASTILLO

DIRECTOR: CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

CUENCA – ECUADOR



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE UN PROCESO ANALÍTICO PARA
COMPLEMENTAR EL CONTROL DE CALIDAD DEL EFLUENTE
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CASO
PILOTO PTAR UCUBAMBA

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

AUTOR: JUAN JOSÉ IÑIGUEZ CASTILLO

DIRECTOR: CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

CUENCA - ECUADOR

AÑO 2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

JUAN JOSÉ IÑIGUEZ CASTILLO portador de la cédula de ciudadanía N° **0105063622**. Declaro ser autor de la obra: **"DETERMINACIÓN DE UN PROCESO ANALÍTICO PARA COMPLEMENTAR EL CONTROL DE CALIDAD DEL EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CASO PILOTO PTAR DE UCUBAMBA"**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de julio de 2023



F:

Juan José Iñiguez Castillo

C.I. 0105063622

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **JUAN JOSÉ IÑIGUEZ CASTILLO**, bajo mi supervisión.

**CARLOS MARCELO
MATOVELLE
BUSTOS**

Firmado digitalmente
por CARLOS MARCELO
MATOVELLE BUSTOS
Fecha: 2023.07.25
22:27:31 -05'00'

ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS

DIRECTOR

DEDICATORIA

Con emoción dedico esta tesis a todas las personas que han dejado una huella imborrable en mi vida y que han sido los pilares de lo que soy actualmente y en la persona que me convertiré. A las personas que han estado a mi lado y me han apoyado durante todo este camino en mi formación académica.

Le dedico esta tesis a mi Papi Felipe, quien fue mi tutor, mi maestro, mi compañero y mi padre. Que sin sus enseñanzas y valores no sería lo que soy actualmente y sin él, no hubiera acabado mi tesis. También le dedico este logro a mi Mami Isa, que me ha apoyado siempre en todo mi camino, que ha sido mi fuente de inspiración y de superación en este largo camino.

A mi abuelita Nelita y a mi abuelito Jorgito, que siempre han estado en cada etapa de mi vida. A mi novia Dome, que estuvo pendiente y apoyándome en todo momento. A mis amigos, que con su amistad y compañía me han facilitado la vida en todos los aspectos. A mis hermanos Joaqui, Rena, Sambiño y Pedrito, que me hacen querer ser mejor cada día. Y a todas las personas que estuvieron a mi lado en todo este proceso. Les dedico este logro y espero me sigan acompañando en todos los logros que vendrán en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en el desarrollo y finalización de mi trabajo de titulación. El apoyo incondicional que me proporcionaron en todo este largo camino ha sido clave para alcanzar este importante logro en mi vida. En primer lugar, quiero expresar mi gratitud hacia mi Papi Felipe y Mami Isa. Su gran amor, dedicación y sacrificio fueron y serán la base de mi educación y mi formación. El apoyo incondicional, tanto emocional como financiero, me brindaron la confianza y la motivación para seguir adelante y superar todos los desafíos que se presentaron durante mi proceso académico. Estoy eternamente agradecido por su amor y la confianza que tienen en mí.

También quiero agradecer a mi abuelita Nelita, cuyo amor, sabiduría e inocencia han sido una guía constante en mi vida. Sus palabras de aliento y sus consejos han sido una fuente de inspiración. Además, quiero rendir homenaje a mi abuelito Jorgito, quien, aunque no esté presente físicamente, ha sido una influencia poderosa en mi vida. Su carácter, sus enseñanzas y su amor han estado presente en cada paso que doy y en el día a día de mi vida. Agradezco su legado y el impacto positivo que me dejó. También quiero agradecer a mis hermanos que, a pesar de no poder compartir mucho tiempo con ellos, los llevo en mi corazón, Joaquí, Rena, Sambiño y Pedrito. Son la razón por la que quiero ser más fuerte cada día y protegerlos por siempre.

No puedo olvidar de mencionar a mi novia Dome, a quien quiero mucho y ha sido parte de este largo proceso, apoyándome en todo momento en cada etapa de mi vida. A mis amigos, quienes han estado a mi lado en cada etapa de mi formación académica. Su apoyo emocional y moral han sido una gran fuente de fortaleza en mí. Sus conversaciones y compañía me han ayudado a mantenerme motivado incluso en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí y festejar cada paso que he dado. También agradezco a mi director de tesis el Ing. Carlos Matovelle, que me ha guiado sabiamente en este camino para culminar mi trabajo de titulación.

A todas las personas mencionadas anteriormente y a aquellos que no han sido mencionados aquí, pero han contribuido de alguna manera en mi formación como persona y en mi formación académica y desarrollo del trabajo de titulación, les expreso mi más profundo agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su apoyo.

Muchas gracias a todos

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se analizó la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba (PTAR) por lagunas de oxidación, ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Como un complemento entre periodos de auditorías, se desarrolló un proceso analítico que ayude al control de la eficiencia de la planta, mejorando la toma de decisiones y correctivos. Se evaluaron los parámetros de contaminación que llegan a la planta, con el fin de analizar datos de caudal y carga contaminante en el afluente y efluente, desde el año 2016 hasta junio del 2020. Además, con la ayuda del programa informático *Risk Simulator*, se observó la probabilidad de incumplimiento de la norma aplicando el “método de Montecarlo”. Se realizó un análisis histórico de los datos y se observó incumplimiento en los siguientes contaminantes: Demanda Química de Oxígeno, Sulfuros y Aceites y Grasas. Mediante la generación de mil casos posibles a futuro en cada parámetro de contaminación, se concluyó que los siguientes contaminantes poseen una alta probabilidad de incumplir la norma: Demanda Química de Oxígeno y Sulfuros.

Palabras clave: *Aguas residuales, Ucubamba, Análisis Probabilístico, Calidad Efluente*

ABSTRACT

This research analyzed the efficiency of the Ucubamba Wastewater Treatment Plant using oxidation ponds located in Cuenca, Ecuador. As a complement between audit periods, an analytical process was developed to monitor the efficiency of the water plant, enhancing decision-making and corrective measures. The pollution parameters in the plant were evaluated to calculate flow and pollutant load data in the influent and effluent from 2016 to June 2020. Also, the Risk Simulator software was used to observe the probability of non-compliance with the standard by applying the "Monte Carlo method." Historical data analysis was carried out, and it was shown non-compliance for the following pollutants: Chemical Oxygen Demand, Sulfides, and Oils and Fats. By generating a thousand possible future cases for each pollution parameter, it was concluded that Chemical Oxygen Demand and Sulfides have a high probability of non-compliance with established standards.

Keywords: *wastewater, Ucubamba, probabilistic analysis, effluent quality*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD _____	I
CERTIFICACIÓN _____	II
DEDICATORIA _____	III
AGRADECIMIENTOS _____	IV
RESUMEN _____	V
ABSTRACT _____	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	I
LISTA DE TABLAS _____	I
LISTA DE FIGURAS _____	II
CAPÍTULO I _____	- 3 -
1. INTRODUCCIÓN _____	- 3 -
1.1 OBJETIVOS _____	- 4 -
1.1.1 <i>Objetivo General</i> _____	- 4 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i> _____	- 4 -
CAPÍTULO II _____	- 6 -
2. MARCO TEÓRICO _____	- 6 -
2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA _____	- 6 -
2.1.1 <i>Contaminación de los cuerpos receptores</i> _____	- 6 -
2.1.2 <i>Impactos de la contaminación del agua</i> _____	- 6 -
2.1.2.1. <i>Impacto en la salud física.</i> _____	- 6 -
2.1.2.2. <i>Impacto de la flora y fauna acuática.</i> _____	- 7 -
2.1.2.3. <i>Impacto económico.</i> _____	- 7 -
2.1.2.4. <i>Impacto en el medio ambiente en su conjunto.</i> _____	- 7 -
2.1.3 <i>Derechos de la naturaleza</i> _____	- 7 -
2.1.4 <i>Aguas residuales</i> _____	- 7 -
2.1.4.1. <i>Aguas residuales domésticas.</i> _____	- 8 -
2.1.4.2. <i>Aguas residuales industriales.</i> _____	- 8 -
2.2 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES _____	- 8 -
2.2.1 <i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales</i> _____	- 8 -
2.2.2 <i>Alcantarillado</i> _____	- 9 -
2.2.3 <i>Saneamiento</i> _____	- 9 -
2.2.4 <i>Afluente</i> _____	- 10 -
2.2.5 <i>Efluente</i> _____	- 10 -
2.2.6 <i>Caudal</i> _____	- 10 -
2.2.7 <i>Concentración</i> _____	- 10 -
2.2.8 <i>Carga contaminante</i> _____	- 10 -
2.2.9 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i> _____	- 11 -
2.2.10 <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> _____	- 11 -
2.2.11 <i>Relación DQO/DBO₅</i> _____	- 11 -
2.2.12 <i>pH</i> _____	- 12 -
2.2.13 <i>Sólidos Sedimentables</i> _____	- 12 -
2.2.14 <i>Sólidos Suspendidos Totales</i> _____	- 12 -
2.2.15 <i>Sólidos Suspendidos Volátiles</i> _____	- 13 -
2.2.16 <i>Sólidos Totales</i> _____	- 13 -

2.2.17 Nitrógeno Total	- 13 -
2.2.18 Fósforo Total	- 13 -
2.2.19 Sulfatos	- 14 -
2.2.20 Sulfuros	- 14 -
2.2.21 Aceites y Grasas	- 14 -
2.2.22 Coliformes Totales	- 15 -
2.3 NORMATIVA AMBIENTAL DEL ECUADOR	- 15 -
2.3.1 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	- 17 -
2.3.2 Límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce	- 18 -
2.3.3 Auditoría Ambiental	- 19 -
2.3.4 Monitoreo	- 20 -
2.3.5 Control	- 20 -
2.4 PROCESOS ESTADÍSTICOS DE MEDICIÓN	- 20 -
2.4.1 Probabilidad	- 20 -
2.4.2 Risk Simulator	- 21 -
2.4.3 Método de Montecarlo para la especificación de probabilidades	- 21 -
2.4.4 Métodos de análisis estadísticos	- 21 -
2.4.5 Tratamiento de variables en el tiempo	- 22 -
2.4.6 Tratamiento de la descriptiva de las series de contenidos	- 23 -
2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA	- 23 -
2.5.1 Tratamiento Preliminar	- 24 -
2.5.1.1. Cajón de Llegada By-pass – Compuerta de Admisión	- 24 -
2.5.1.2. Cribas Mecánicas Autolimpiantes	- 24 -
2.5.1.3. Deflectores de Caudal – Desarenadores – Transportador de Arena	- 25 -
2.5.2 Lagunas Aireadas	- 25 -
2.5.3 Lagunas Facultativas	- 25 -
2.5.4 Lagunas de Maduración	- 25 -
CAPÍTULO III	- 26 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 26 -
3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	- 26 -
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	- 28 -
3.2.1 Población	- 28 -
3.2.2 Muestra	- 29 -
3.2.3 Tipo de muestreo	- 29 -
3.3 METODOLOGÍA	- 29 -
3.3.1 Análisis del Caudal (afluente)	- 29 -
3.3.2 Concentración de los parámetros de calidad	- 33 -
3.3.3 Cálculo de la relación DQO/DBO ₅	- 38 -
3.3.4 Análisis de series estandarizadas	- 39 -
3.3.5 Cálculo de la carga contaminante	- 40 -
3.3.6 Cálculo de la probabilidad de cumplimiento	- 42 -
3.3.6.1. Cálculo y análisis mediante Risk Simulator	- 43 -
CAPÍTULO IV	- 52 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 52 -
4.1 CAUDAL	- 52 -
4.2 ANÁLISIS DE LAS SERIES ESTANDARIZADAS	- 53 -
4.2.1 DBO ₅	- 53 -
4.2.2 DQO	- 55 -
4.2.3 Relación DQO/DBO ₅	- 57 -
4.2.4 Fósforo total	- 58 -

4.2.5 Nitrógeno Total Kjeldahl	- 60 -
4.2.6 pH	- 62 -
4.2.7 Sólidos Sedimentables	- 64 -
4.2.8 Sólidos Suspendidos Totales	- 65 -
4.2.9 Sólidos Totales	- 67 -
4.2.10 Sulfatos	- 68 -
4.2.11 Sulfuros	- 69 -
4.2.12 Aceites y Grasas	- 71 -
4.2.13 Coliformes Totales	- 73 -
4.3 CARGA CONTAMINANTE	- 75 -
4.3.1 DBO ₅	- 75 -
4.3.2 DQO	- 78 -
4.3.3 Nitrógeno Total Kjeldahl	- 81 -
4.3.4 Fósforo Total	- 84 -
4.3.5 Sólidos Totales	- 87 -
4.4 PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO	- 90 -
4.4.1 DBO ₅	- 90 -
4.4.2 DQO	- 92 -
4.4.3 Fósforo Total	- 93 -
4.4.4 Nitrógeno Total Kjeldahl	- 95 -
4.4.5 Sólidos Sedimentables	- 96 -
4.4.6 Sólidos Suspendidos Totales	- 97 -
4.4.7 Sólidos Totales	- 98 -
4.4.8 Sulfuros	- 100 -
4.4.9 Aceites y Grasas	- 101 -
4.5 PROCESO ANALÍTICO DE ESTIMACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA	- 103 -
CAPÍTULO V	- 104 -
5. CONCLUSIONES	- 104 -
CAPÍTULO VI	- 107 -
6. RECOMENDACIONES	- 107 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 108 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de la relación DQO/DBO ₅ de Aguas Residuales	- 12 -
Tabla 2: Resumen de la Normativa Ambiental del Ecuador	- 15 -
Tabla 3: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, según el TULSMA.....	- 18 -
Tabla 4: Límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce, según el TULSMA.....	- 19 -
Tabla 5: Porcentajes de Cobertura y Conexiones a la PTAR de Ucubamba	- 28 -
Tabla 6: Caudal Medio Diario en el Afluente PTAR Ucubamba (m3/seg.) - 2016.....	- 31 -
Tabla 7: Frecuencia de la toma de muestras de cada parámetro	- 34 -
Tabla 8: Parámetros de Calidad Agua Cruda (Afluente).....	- 35 -
Tabla 9: Parámetros Calidad Maduración 1	- 36 -
Tabla 10: Parámetros Calidad Maduración 2 (Efluente)	- 37 -
Tabla 11: Número de Variables por Parámetro	- 38 -
Tabla 12: Cálculo de relación DQO/DBO ₅ (ejemplo)	- 39 -
Tabla 13: Estadística Descriptiva - Caudal.....	- 53 -
Tabla 14: Estadística Descriptiva - DBO ₅	- 54 -
Tabla 15: Estadística Descriptiva – DQO	- 56 -
Tabla 16: Estadística Descriptiva - Relación DQO/DBO ₅	- 58 -
Tabla 17: Estadística Descriptiva - Fósforo Total	- 59 -
Tabla 18: Estadística Descriptiva - Nitrógeno Total Kjeldahl.....	- 61 -
Tabla 19: Estadística Descriptiva – pH.....	- 63 -
Tabla 20: Estadística Descriptiva - Sólidos Sedimentables.....	- 64 -
Tabla 21: Estadística Descriptiva - Sólidos Suspendidos Totales	- 65 -
Tabla 22: Estadística Descriptiva - Sólidos Totales.....	- 67 -
Tabla 23: Estadística Descriptiva - Sulfatos	- 68 -
Tabla 24: Estadística Descriptiva - Sulfuros	- 70 -
Tabla 25: Estadística Descriptiva - Aceites y Grasas.....	- 72 -
Tabla 26: Estadística Descriptiva - Coliformes Totales.....	- 73 -
Tabla 27: Resumen de cumplimiento por parámetro de las series estandarizadas	- 74 -
Tabla 28: Estadística Descriptiva – Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por DBO ₅	- 76 -
Tabla 29: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda DBO ₅	- 77 -
Tabla 30: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por DQO	- 79 -
Tabla 31: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda DQO.....	- 80 -
Tabla 32: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl	- 82 -
Tabla 33: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Nitrógeno Total Kjeldahl.....	- 83 -
Tabla 34: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Fósforo Total	- 85 -
Tabla 35: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Fósforo Total.....	- 86 -
Tabla 36: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Sólidos Totales.....	- 88 -
Tabla 37: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Sólidos Totales	- 89 -
Tabla 38: Resumen probabilidad de cumplimiento por parámetro	- 102 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cuenca	- 24 -
Figura 2: Ubicación de la ciudad de Cuenca	- 26 -
Figura 3: Ubicación de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba	- 27 -
Figura 4: Interceptores y Colectores conectados a la PTAR de Ucubamba.....	- 28 -
Figura 5: Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 - Arsénico	- 40 -
Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la PTAR de Ucubamba.....	- 41 -
Figura 7: Paso 1 - Análisis Risk Simulator	- 43 -
Figura 8: Paso 2 - Análisis Risk Simulator	- 43 -
Figura 9: Paso 3 - Análisis Risk Simulator	- 44 -
Figura 10: Paso 4 - Análisis Risk Simulator	- 44 -
Figura 11: Paso 5 - Análisis Risk Simulator	- 45 -
Figura 12: Paso 6 - Análisis Risk Simulator	- 45 -
Figura 13: Paso 7 - Análisis Risk Simulator	- 46 -
Figura 14: Paso 8 - Análisis Risk Simulator	- 47 -
Figura 15: Paso 9 - Análisis Risk Simulator	- 47 -
Figura 16: Paso 10 - Análisis Risk Simulator	- 48 -
Figura 17: Paso 11 - Análisis Risk Simulator	- 49 -
Figura 18: Paso 12 - Análisis Risk Simulator	- 49 -
Figura 19: Paso 13 - Análisis Risk Simulator	- 50 -
Figura 20: Paso 14 - Análisis Risk Simulator	- 50 -
Figura 21: Paso 15 - Análisis Risk Simulator	- 51 -
Figura 22: Serie de datos histórica Caudal 2016 – junio 2020.....	- 52 -
Figura 23: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 - DBO ₅	- 54 -
Figura 24: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - DBO ₅	- 55 -
Figura 25: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 – DQO	- 56 -
Figura 26: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – DQO.....	- 57 -
Figura 27: Serie de datos histórica de la relación DQO/DBO ₅	- 58 -
Figura 28: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 – Fósforo Total -	59 -
Figura 29: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - Fósforo Total	- 60 -
Figura 30: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Nitrógeno Total	
Kjeldahl.....	- 61 -
Figura 31: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Nitrógeno Total Kjeldahl..	- 62 -
Figura 32: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – pH.....	- 63 -
Figura 33: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos	
Sedimentables	- 64 -
Figura 34: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos	
Suspendidos Totales.....	- 65 -
Figura 35: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Suspendidos Totales	
.....	- 66 -
Figura 36: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Totales	
.....	- 67 -
Figura 37: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfatos.....	- 68 -
Figura 38: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfuros	- 69 -
Figura 39: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfuros.....	- 70 -
Figura 40: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Aceites y Grasas	
.....	- 71 -
Figura 41: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Aceites y Grasas	- 72 -
Figura 42: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Coliformes	
Totales.....	- 73 -

Figura 43: Carga Contaminante por DBO5 - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente).....	- 75 -
Figura 44: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por DBO ₅	- 76 -
Figura 45: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por DBO ₅	- 77 -
Figura 46: Carga Contaminante por DQO - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente).....	- 78 -
Figura 47: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por DQO.....	- 79 -
Figura 48: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por DQO.....	- 80 -
Figura 49: Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente).....	- 81 -
Figura 50: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl ...	- 82 -
Figura 51: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Nitrógeno Total Kjeldahl.....	- 83 -
Figura 52: Carga Contaminante por Fósforo Total - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente).....	- 84 -
Figura 53: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Fósforo Total.....	- 85 -
Figura 54: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Fósforo Total.....	- 86 -
Figura 55: Carga Contaminante por Sólidos Totales - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente).....	- 87 -
Figura 56: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Sólidos Totales.....	- 88 -
Figura 57: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Sólidos Totales.....	- 89 -
Figura 58: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 DBO ₅	- 90 -
Figura 59: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 DBO ₅	- 91 -
Figura 60: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 DQO.....	- 92 -
Figura 61: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 DQO.....	- 92 -
Figura 62: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Fósforo Total.....	- 93 -
Figura 63: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Fósforo Total.....	- 94 -
Figura 64: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Nitrógeno Total Kjeldahl.....	- 95 -
Figura 65: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Nitrógeno Total Kjeldahl.....	- 95 -
Figura 66: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Agua Cruda Sólidos Sedimentables ..	- 96 -
Figura 67: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sólidos Suspendidos Totales.....	- 97 -
Figura 68: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sólidos Suspendidos Totales.....	- 97 -
Figura 69: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sólidos Totales.....	- 98 -
Figura 70: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sólidos Totales.....	- 99 -
Figura 71: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sulfuros..	- 100 -
Figura 72: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sulfuros..	- 100 -
Figura 73: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Aceites y Grasas.....	- 101 -
Figura 74: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Aceites y Grasas.....	- 102 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua y el medio ambiente es un problema que se aborda día a día en todo el mundo. De acuerdo con la OMS, sólo el 54% de la población mundial utiliza agua que se ha sometido a un tratamiento seguro de acuerdo con sus características, y aproximadamente el 45% de las aguas residuales producidas por los países y ciudades terminan en cuerpos receptores sin haber sido sometido a algún tratamiento seguro. Además, estiman que cerca del 10% de toda la población consumen alimentos que son regados por aguas residuales no tratadas o por tratamientos poco efectivos (OMS, 2022). El control y monitoreo de la calidad de los efluentes de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales es fundamental para evitar o disminuir la contaminación del agua y el deterioro de la calidad ambiental y la calidad de vida de la población.

Según el Código Orgánico del Ambiente (COA), en el Ecuador las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) deben someterse periódicamente a una auditoría ambiental de cumplimiento, esto es cada 3 años (Art 493 del Reglamento al COA), con el fin de verificar y controlar las descargas tratadas hacia el medio ambiente y cumplan con los límites permisibles establecidos en la ley (COA, 2017). Son periodos de tiempo muy amplios, que posibilitan que cualquier pico de contaminación o un desajuste en el tratamiento de las PTAR pongan en riesgo la calidad ambiental de los cuerpos receptores. Existe la probabilidad que durante los periodos entre auditorías (3 años) y/o reporte de monitoreos (1 año), no se desarrollen controles efectivos sobre el cumplimiento de los límites permisibles en cuanto a los efluentes del tratamiento.

El presente trabajo de titulación aborda el desarrollo de un proceso analítico utilizando los datos que diariamente se obtienen del tratamiento de aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba desde el año 2016 hasta junio del 2020, complementando el control y el cumplimiento de la normativa ambiental, de manera que los resultados de este proceso analítico se tenga una base para un monitoreo permanentemente de la calidad de los efluentes posterior a su tratamiento; se espera que la información se utilice para asumir correcciones inmediatas en los procesos de operación de las PTAR para la preservación del medio ambiente.

Para lograr estos objetivos, se utilizó un enfoque metodológico basado en recopilación de información y análisis de datos mediante el método de Montecarlo con el software de *Risk Simulator*. Los resultados obtenidos permitieron identificar si el tratamiento que se realiza en la PTAR de Ucubamba tiene una gran eficiencia en la remoción de diferentes tipos de contaminantes. La estructura del trabajo de titulación se compone de seis capítulos. En el primer capítulo, se redactan la introducción y los objetivos. En el segundo capítulo, se realiza una revisión bibliográfica sobre los conceptos que abarcan la contaminación del agua y el tratamiento de aguas residuales en el Ecuador y los procesos empleados en la PTAR de Ucubamba. En el tercer capítulo, se abordan los materiales y métodos empleados en la metodología a través de la recopilación y análisis de datos. En el cuarto capítulo, se presentan y se discuten los resultados, mediante tablas y gráficos

descriptivos se describieron hallazgos y opiniones de dichos resultados. Finalmente, en el quinto y sexto capítulo, se redactaron las conclusiones y recomendaciones procedentes de la investigación. Los resultados obtenidos podrían proporcionar una base sólida para futuras investigaciones, identificando y corrigiendo a tiempo fallos en el tratamiento y promover el control constante de la contaminación que se vierte diariamente en los cuerpos hídricos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Desarrollar un proceso analítico de control de la eficiencia de la PTAR de Ucubamba, que permita definir la probabilidad de cumplimiento de la normativa ambiental relacionada con la calidad del efluente de los sistemas de tratamiento, para complementar el control específico de las auditorías ambientales y los planes de manejo derivadas de estas, así como mejorar la toma de decisiones y la aplicación de correctivos entre períodos de auditorías, utilizando los datos de caudal y carga contaminante en el afluente y efluente, de al menos 5 años de registros de estas variables.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Construir el espectro de escenarios posibles de caudal y carga contaminante del afluente y efluente de la PTAR de Ucubamba registrado en un periodo de 5 años.
- Estimar la probabilidad de cumplimiento de las normas de calidad ambiental del efluente de la PTAR de Ucubamba con una tolerancia máxima del 5%.
- Definir el proceso analítico para la estimación continua y permanente de la probabilidad de cumplimiento de la normativa sobre calidad del efluente, en función de los registros de caudal y carga contaminante de la PTAR de Ucubamba que se obtengan a futuro.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación del agua

Según la OMS la contaminación del agua se produce cuando pierde las condiciones normales a la cual el agua estaba destinada para su uso. Puede presentar algunas alteraciones físicas como: cambio de temperatura, su densidad, color, entre otros; también presentar cambios químicos como: su composición, sólidos disueltos, entre otros (García, 2014).

2.1.1 Contaminación de los cuerpos receptores

La contaminación de los cuerpos receptores ha evolucionado con el paso de los años de acuerdo con el desarrollo industrial y el crecimiento urbanístico. El alcantarillado y el saneamiento ha frenado la contaminación y los impactos en la salud por contaminación del agua, ya que el saneamiento se enfoca en la remoción segura de los contaminantes presentes en esas aguas, mientras que el alcantarillado se concentra en recolectar y transportar el agua sobrante. Ambos factores son cruciales para mantener la salud y la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, así como para prevenir enfermedades y daños al medio ambiente (Salda & Technology, 2014).

En años anteriores a la industrialización, la contaminación provenía de origen doméstico teniendo como impacto la disminución de Oxígeno Disuelto y el incremento de bacterias medida en DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días) en los cuerpos receptores. Posteriormente, con la llegada de las grandes industrias a las ciudades, provocó la acidificación con el uso de contaminantes orgánicos provenientes de la agricultura y de las industrias que trabajan con combustibles fósiles provocando una alteración del agua superficial y subterránea produciendo un cambio en el tratamiento de aguas residuales (Salda & Technology, 2014).

2.1.2 Impactos de la contaminación del agua

Los impactos de la contaminación del agua afectan de manera directa e indirecta a los ecosistemas, ciudades y comunidades de los países del mundo. Son varios los impactos que puede llegar a producir la contaminación, con diferentes tipos de consecuencia según la gravedad de la fuente de contaminación (Herrera & Cabezas, 2022).

2.1.2.1. Impacto en la salud física.

Las enfermedades tifoidea y colera, así como enfermedades más graves como problemas estomacales, pueden ser provocadas por la contaminación del agua en los humanos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022). En algunos casos, también puede aumentar el riesgo de producir cáncer (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2021).

2.1.2.2. Impacto de la flora y fauna acuática.

La contaminación del agua podría tener efectos devastadores en la vida acuática, matando peces y otros animales marinos y reduciendo la biodiversidad en los cuerpos de agua afectados (Riquelme, 2016). Además, los contaminantes en el agua pueden acumularse en las pieles de los animales acuáticos antes de pasar por la cadena alimentaria y llegar a los humanos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2021).

2.1.2.3. Impacto económico.

La contaminación del agua puede tener repercusiones económicas significativas, particularmente en las comunidades que dependen del agua para actividades agrícolas y pesqueras (Riquelme, 2016). Además, puede aumentar los costos de tratamiento de agua para la industria y los municipios (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2021).

2.1.2.4. Impacto en el medio ambiente en su conjunto.

La contaminación del agua puede tener efectos a largo plazo en el medio ambiente, incluida la degradación del suelo y la disminución de la calidad del aire. Además, tiene el potencial de conducir a la eutrofización de cuerpos de agua acuáticos, lo que resultaría en un incremento de los niveles de nutrientes y un crecimiento excesivo de algas y otros organismos, lo que podría reducir los niveles de oxígeno en el agua y matar la vida acuática (Aranda, 2004).

2.1.3 Derechos de la naturaleza

Según el Art. 71 de la Constitución de la República del Ecuador del año 2008, “la naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema” (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

2.1.4 Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que han sufrido una variación en sus características ya sean físicas, químicas o biológicas por el ingreso de contaminación como residuos sólidos, domésticos, industriales, químicos, biológicos, agrícolas, entre otros., hacia los cuerpos hídricos afectando su ecosistema y su entorno (Cardona & García, 2008). Las aguas residuales descienden en su mayoría de una ciudad, comunidad o población hacia cuerpos hídricos receptores o plantas de tratamiento de aguas residuales, su composición varía según de donde provienen y se pueden clasificar en

aguas residuales domésticas, industriales, pluviales y de infiltración. Estando las dos primeras más vinculadas con la contaminación del agua (Cardona & García, 2008).

2.1.4.1. Aguas residuales domésticas.

Los vertidos de aguas residuales domésticas son aportados por las actividades domesticas cotidianas, por lo que es una combinación de aguas negras y aguas que fueron ocupadas para la limpieza como jabones, detergentes y grasas (Garcia, 2014). Presentan un elevado contenido de materia orgánica, y debido a la gran variedad de usos se clasifican de acuerdo con su composición la cual varía según los hábitos de la población. La importancia del tratamiento de las aguas servidas radica en el cuidado de la naturaleza, que tiene como objetivo devolver el agua utilizada en las fuentes naturales, sin que llegue a presentar un peligro para los seres vivos que hayan tenido contacto con él. En ocasiones, las aguas residuales industriales pueden pasar por domésticas si, no contienen altas cantidades de sustancias químicas (Cardona & García, 2008).

2.1.4.2. Aguas residuales industriales.

Se denomina agua de desecho generadas en las operaciones o por procesos y actividades industriales. Según el (TULSMA, 2018), se prohíben las descargas de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado que provengan del mantenimiento y/o lavado de vehículos, así como aplicadores aéreos y manuales, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

Para poder cumplir con los límites permisibles de vertido en cuerpos de agua dulce o sistemas de alcantarillado de la legislación vigente de cada país, los contaminantes en el agua como materia orgánica, metales pesados, detergentes, productos químicos, entre otros, que hayan sido utilizados en algún proceso o etapa industrial, deben ser gestionados por la propia empresa y eliminarse de una manera segura antes de ser vertido en cuerpos receptores o se pueda nuevamente introducir y reutilizar las aguas tratadas en las operaciones de la empresa (Collazos, 2008).

2.2 Tratamiento de las aguas residuales

Es una serie de procesos químicos, físicos y biológicos que tienen como objetivo eliminar o disminuir los contaminantes presentes en el afluente (doméstico, industrial o fluvial) que llega a una PTAR (Hidalgo & Mejía, 2010). Es un proceso conformado por un tratamiento preliminar, primario, secundario y avanzado de manera individual, su eficiencia varía en función de las necesidades requeridas (TULSMA, 2018).

2.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales o también llamada PTAR ayuda en la limpieza y mejoramiento de las aguas residuales domésticas e industriales que llegan a la planta, con un conjunto de facilidades, obras y técnicas implementadas para eliminar sólidos como plásticos, trapos y algunas vísceras, así también reducen la materia orgánica y restauran el oxígeno mejorando sus

características del afluente para poder ser devueltas de manera segura al medio ambiente (TULSMA, 2018).

Las aguas residuales que llegan a una PTAR consisten en dos componentes principales, son el efluente líquido y el efluente sólido (lodos). Comúnmente, existen dos maneras de tratar las aguas residuales en una PTAR. La primera es el método por decantación, que permite dejar las aguas residuales en un estanque de forma que los sólidos se sitúen en el fondo, posteriormente en la parte superior se da tratamiento por sustancias químicas para disminuir el número de contaminantes dañinos. El segundo método y el más utilizado es la descomposición por bacterias que degradan materia orgánica, comúnmente llamado proceso de lodos activados que proporciona oxígeno a los microorganismos de las aguas residuales para que acelerar su metabolismo (Reynolds, 2002).

Existen procesos básicos que comúnmente siguen las PTAR para el tratamiento de las aguas residuales:

- a) Pretratamiento: Aquí se realiza la remoción de grandes y medianos objetos sólidos mediante procesos físicos (Reynolds, 2002).
- b) Tratamiento primario: En esta etapa se lleva a cabo el proceso de sedimentación por gravedad, en donde las partículas sólidas y algunos contaminantes caen al fondo (Reynolds, 2002).
- c) Tratamiento secundario: Mediante filtros de goteo o lodos activados se produce la digestión biológica para ayudar en el crecimiento de microorganismos que se ocupan de la descomposición de la materia orgánica (Reynolds, 2002).
- d) Tratamiento terciario: Se aplican tratamientos químicos como la desinfección o precipitación (coagulación y floculación). Después esta etapa se realiza la toma de muestras para verificar que el agua tratada cumpla con los límites permisibles de acuerdo con las normas de cada país (Reynolds, 2002).

2.2.2 Alcantarillado

Se refiere como alcantarillado a la red de tuberías, conductos y estructuras utilizadas para transportar aguas residuales (también conocidas como "aguas negras") desde los hogares, negocios e industrias hasta las instalaciones de tratamiento o depósitos de almacenamiento de agua. La principal responsabilidad del alcantarillado es recolectar y conducir las aguas residuales (Audefroy, 2011).

2.2.3 Saneamiento

Se refiere al saneamiento como los pasos y acciones tomadas para tratar y eliminar los contaminantes que se localizan en las aguas residuales, con el fin de salvaguardar la salud pública

y mejorar la calidad del medio ambiente. El saneamiento incluye el tratamiento de las aguas residuales en las plantas de tratamiento, la eliminación segura de los desechos tratados y la prevención de la contaminación del agua, suelo y aire; entre otros objetivos como la recolección y eliminación de residuos sólidos, control de vectores de enfermedades y agentes infecciosos y el mejoramiento de la calidad de vida (Campos, 2003).

2.2.4 Afluente

Es un flujo de agua, agua residual u otro líquido que ingresa como una corriente a un cuerpo de agua receptor, reservorio, proceso de tratamiento o planta de tratamiento con ciertas características químicas, físicas y biológicas dependiendo de su origen (TULSMA, 2018).

2.2.5 Efluente

Es una salida, descarga o vertido líquido procedente de un proceso productivo, planta de tratamiento o de una actividad determinada, puede ser de origen natural o artificial (TULSMA, 2018).

2.2.6 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una superficie en un tiempo determinado (TULSMA, 2018), se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Se calcula mediante la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{m^3}{s} \quad (1)$$

Q = Caudal
V = Volumen (m^3)
t = Tiempo (segundos)

El caudal de las aguas residuales de una PTAR tiene un valor máximo, valor medio y valor mínimo durante todo el día.

2.2.7 Concentración

La concentración (W) es una sustancia específica que se encuentra en relación con un volumen determinado en donde la contiene (Minambiente, 2001). Es la unidad de masa sobre un volumen y se expresa en miligramos por litro (mg/L) mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{m}{V} = \frac{mg}{L} \quad (2)$$

W = Concentración
m = Masa (mg)
V = Volumen (L)

2.2.8 Carga contaminante

La carga contaminante o carga másica (C_c) representa la cantidad total de una descarga de un contaminante de aguas residuales a un cuerpo receptor (Minambiente, 2001), se da por el resultado

de la concentración de un contaminante multiplicado por el caudal de la descarga (Junta de Andalucía, 2018). Se expresa en kilogramos por día (Kg/d) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Cc = W * Q = \frac{Kg}{d} \quad (3)$$

$$W = \frac{mg}{L} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{1 kg}{1000000 mg} = \frac{kg}{m^3} \quad (4)$$

$$Q = \frac{m^3}{seg} * \frac{86400 seg}{1 d} = \frac{m^3}{d} \quad (5)$$

$$Cc = \frac{Kg}{m^3} * \frac{m^3}{d} = \frac{Kg}{d} \quad (6)$$

Cc = Carga contaminante

W = concentración (mg/L)

Q = caudal (m³/seg)

La concentración debe estar en kilogramos por metro cúbico (kg/m³) y el caudal en metros cúbicos por día (m³/día) para obtener la carga contaminante en kilogramos por día (kg/día) (Minambiente, 2001).

2.2.9 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad del oxígeno necesario por los microorganismos para oxidar de manera aerobia la materia orgánica biodegradable a 20 °C presente en el agua residual. Su valor se obtiene en la medición a los 5 días. Se expresa en miligramos por litro (mg/L) y es un parámetro requerido para verificar la calidad del agua residual que llega a las PTAR y se descarga al medio ambiente (Lecca Raffo & Ruiz Lizama, 2014).

2.2.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno establece la cantidad de oxígeno necesario para oxidar (destrucción) cualquier materia o sustancia ya sea biodegradable y no biodegradable presente en el agua residual a una temperatura específica. Su valor se obtiene en 3 horas y posee una buena relación con la DBO. Miligramos por litro (mg/L) es su unidad de medida y no muestra información acerca la velocidad de degradación en condiciones naturales (Ministerio de Ambiente - Republica de Colombia & Rodriguez, 2007).

2.2.11 Relación DQO/DBO₅

Los indicadores DBO₅ – DQO proporcionan diferentes informaciones, pero por lo general se ocupan en la medición de la calidad del agua. Los valores de la DQO son mayores a los valores de la DBO₅, esto se debe a que el oxidante químico tiene una mayor capacidad de reaccionar a sustancias que requieren una mayor biodegradación de la materia orgánica presente en el agua residual (Osorio, 2017). Si la relación DQO/DBO₅ es alta, indica que la materia orgánica que se encuentra es biodegradable y puede ser tratada de manera biológica, pero si la relación indica que

es de alta intensidad significa que la materia orgánica presente en el agua residual no es biodegradable y puede que necesite un tratamiento químico-físico para su eliminación (Osorio, 2017).

Según el IWA (Asociación Internacional del Agua) esta relación indica el tipo y grado de contaminación de las aguas residuales. En la **tabla 1** se muestran los grados de intensidad según la relación DQO/DBO₅:

Tabla 1: Parámetros de la relación DQO/DBO₅ de Aguas Residuales

RELACIÓN	PUBLICACIÓN DE IWA	GRADO
DQO/DBO ₅	0 - 2,0	Baja Intensidad
	2,0 - 2,5	Mediana Intensidad
	2,5 - 4	Alta Intensidad

Fuente: Extraído de (Osorio, 2017)

Elaboración: Propia

Una DQO/DBO₅ de baja intensidad muestran exclusivamente de uso residencial. Si la relación DQO/DBO₅ es de mediana intensidad puede indicar que las aguas residuales provienen de sectores residenciales e industriales sin mucho grado de afectación al medio ambiente. Si la relación DQO/DBO₅ es alta, se consideran aguas contaminadas de origen industrial y esto puede implicar que una parte sustancial de la materia orgánica será difícil de degradar (Osorio, 2017).

2.2.12 pH

El pH (proveniente del latín *pondus hydrogenii*) es una medida de concentración de los iones de hidrógeno en una sustancia disuelta en agua. Es esencial para determinar la capacidad de los organismos acuáticos para consumir nutrientes como fósforo, carbono y nitrógeno, o también si se encuentran metales pesados en el agua. Se mide en escala de pH, donde 0 es completamente ácido y 13 es sumamente alcalino. Por lo general, el agua potable que se bebe tiene un pH entre 6 y 7, es decir, un pH neutro (Amaya et al., 2004).

2.2.13 Sólidos Sedimentables

Los sólidos que pueden depositarse o adherirse al fondo de tanques o sedimentadores durante el tratamiento de aguas residuales se conocen como sólidos sedimentables. Se pueden localizar en aguas residuales. Estos solventes pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos, y provienen de una variedad de fuentes, como desechos agrícolas, aguas residuales domésticas y desechos industriales (Quijada, 2021). Miligramos por litro (mg/L) es su unidad de medida.

2.2.14 Sólidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se caracterizan por el material particulado que se conservan en suspensión en las corrientes hídricas superficiales y/o en aguas residuales. Se identifica por la retención de residuos mediante un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro

nominal de 0.45 μ mediante el método gravimétrico (CAN, 2005). Miligramos por litro (mg/L) es su unidad de medida.

2.2.15 Sólidos Suspendidos Volátiles

Los sólidos suspendidos volátiles en aguas residuales sirven para valorar la calidad del agua residual posterior al proceso de tratamiento en una PTAR. Son sólidos capaces de volatilizarse por calcinación en hornos de laboratorio a 550 °C. Miligramos por litro (mg/L) es su unidad de medida (Larañaga, 1976).

2.2.16 Sólidos Totales

Los sólidos totales (ST) abarcan toda la materia sólida contenida en aguas residuales a la llegada y a la salida de una PTAR. Es necesario la medición de este parámetro para observar la cantidad de material sólido que está contenido en aguas residuales y lodos después de su tratamiento, ya que estos permanecen como residuos posteriormente de su evaporación y secado a una temperatura de 103 °C. En los ST se incluyen la totalidad del material disuelto y sólidos suspendidos (Torres, 2006). Se expresan en miligramos por litro (mg/L).

2.2.17 Nitrógeno Total

Según la *American Public Health Association* "APHA", (2000) define al nitrógeno total como "la suma de óxido orgánico, amorfo, nítrico y nítrico presente en una muestra". Para asegurar la calidad del agua y la protección del medio ambiente, la mayoría de las agencias reguladoras exigen la determinación de los niveles de nitrógeno total. Cuando se trata de aguas residuales, es necesario medir el contenido total de nitrógeno, ya que demasiado nitrógeno en el agua puede conducir a la eutrofización de las fuentes hídricas afectando directamente a la vida acuática, lo que puede tener consecuencias graves para el medio ambiente y la salud pública (Quirós, 2000). La unidad de medida del nitrógeno total es en miligramos por litro (mg/L).

2.2.18 Fósforo Total

El control del fósforo en las aguas residuales es de suma importancia ya es uno de los principales contribuyentes de la eutrofización de lagos y de las fuentes hídricas naturales. Sus altos niveles causan altos costes de purificación, pérdida de biodiversidad y parámetros naturales del ecosistema en los recursos hídricos del efluente de la PTAR donde es depositado. Para bajar o eliminar los niveles de fosforo en las aguas residuales normalmente se aplica el método de precipitación química, es un método en donde se añade un coagulante utilizado para disminuir progresivamente y hasta su totalidad las formas inorgánicas del fosfato. Estos procesos se realizan en el tratamiento primario y secundario de las PTAR (Nuevo, 2022). La unidad de medida del Fósforo Total es en miligramos por litro (mg/L).

2.2.19 Sulfatos

Los sulfatos son un compuesto químico que se puede localizar en las aguas residuales de forma natural o artificial como resultado de muchas actividades humanas, la producción de alimentos, la fabricación de productos químicos y la minería. Los sulfatos pueden estar presentes en las aguas residuales industriales y domésticas. Se pueden producir en entornos industriales mediante procedimientos como la fabricación de papel, la producción de energía, la refinación del petróleo, entre otros. Los sulfatos en el agua residual de los hogares pueden provenir de productos químicos como detergentes, productos de limpieza o artículos de higiene personal. Las concentraciones significativas de sulfato en el agua pueden tener una variedad de efectos ambientales, incluida la eutrofización (Severiche & Gonzáles, 2012). Además, pueden producir reacciones químicas para la formación de sulfuros, que son tóxicos para la vida acuática. La unidad de medida de los sulfatos es en miligramos por litro (mg/L).

2.2.20 Sulfuros

El compuesto químico conocido como sulfuros se encuentra en aguas residuales que han sido contaminadas con material orgánico e inorgánico como subproducto de procesos biológicos y químicos. Los sulfuros se pueden formar por descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias. Este proceso normalmente tiene lugar dentro de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, que son el entorno ideal para esta actividad bacteriana. Los sulfuros son tóxicos para la vida acuática, particularmente para los peces, lo que afecta su capacidad para utilizar el oxígeno disuelto presente en el agua y afecta su función respiratoria. Tienen un olor potente que los distingue (huevo podrido), lo que puede producir olores desagradables para el ser humano (Afanador & Gaitan, 2007). Se expresa en miligramos por litro (mg/L).

2.2.21 Aceites y Grasas

Los aceites y grasas son compuestos insolubles en agua que se encuentran presentes en las aguas residuales. Proviene de diferentes fuentes tanto industriales como domésticas. En la industria provienen de actividades como producción de alimentos, industria química, combustibles, entre otros. En el ámbito doméstico se producen por actividades como la cocina, limpieza y cuidado personal, desecho de aceites de origen vegetal o animal, viseras, entre otros. La presencia de aceites en el agua puede ocasionar varios efectos negativos, pueden formar capas en la superficie del agua que impidan el paso de la luz solar, lo que provoca que las plantas acuáticas no reciban suficiente alimento para producir oxígeno y disminuya la calidad de vida acuática. Los aceites pueden llegar a adherirse a algunas partículas del agua, lo que provocaría un aumento de la carga orgánica en los sistemas al momento del tratamiento (Guilcamaigua Anchatuña et al., 2019). Miligramos por litro (mg/L) es la unidad de medida de los Aceites y Grasas.

2.2.22 Coliformes Totales

En las aguas residuales, los coliformes totales son bacterias que se utilizan como indicadores de contaminación fecal, incluyen varias bacterias, pero la que se encuentra más comúnmente es la *Escherichia Coli* (*E. coli*). Las bacterias se encuentran en los intestinos de mamíferos y la presencia de dichas bacterias es una posible contaminación de los cuerpos hídricos, provocando graves enfermedades gastrointestinales al momento de su consumo (León et al., 2018). Se expresa en número más probable en 100 mililitros (NMP/100ml).

2.3 Normativa Ambiental del Ecuador

Tabla 2: Resumen de la Normativa Ambiental del Ecuador

No	Marco Legal	Artículo	Resumen
1	Constitución de la República del Ecuador (2008)	Art. 12 y 318 inciso I	La Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho humano fundamental e irrenunciable al agua, permite el uso responsable del mismo y prohíbe su privatización, definido como patrimonio nacional estratégico de uso público
	Constitución de la República del Ecuador (2008)	Capítulo séptimo, del Art. 71 al 74	La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho al respeto integral de su existencia, ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Cualquier persona o grupo puede exigir a la autoridad el cumplimiento de estos derechos, y el Estado debe incentivar la protección de la naturaleza y el respeto por todos los elementos de un ecosistema.
2	Código Orgánico del Ambiente	Art. 196	Los GAD municipales deben contar con la infraestructura necesaria para instalar sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales tanto de zonas urbanas como rurales. Deben fomentar el tratamiento de aguas residuales con el fin del cumplimiento de la normativa y reutilización siempre y cuando no afecte a la salud pública.

Continuación **Tabla 2**

No	Marco Legal	Artículo	Resumen
2	Código Orgánico del Ambiente	Capítulo I "Objetivo y el Alcance". Art. 199 y 200	El objetivo de las acciones de control y seguimiento de la calidad ambiental es verificar el cumplimiento de la normativa y obligaciones ambientales, así como la efectividad de las medidas para prevenir, evitar y reparar los impactos o daños ambientales. La Autoridad Ambiental Competente es responsable de controlar y hacer seguimiento a todas las actividades ejecutadas por operadores
		Capítulo II "Mecanismos de Control y Seguimiento Ambiental". Art. 201	Existen diferentes mecanismos de control y seguimientos ambientales, tales como: - Monitoreos, -Muestreos, -Inspecciones, -Informes ambientales de cumplimiento, -Auditorías ambientales, -Otros que establezca la Autoridad Ambiental Competente.
3	Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	Art. 483 al 485	El proceso de monitoreos y los procedimientos de monitoreo ambiental deben ser realizados por los operadores de proyectos, obras o actividades para evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental y del plan de manejo ambiental. La Autoridad Ambiental Competente puede solicitar actividades de monitoreo de calidad ambiental en cualquier momento y los costos serán cubiertos por el operador. Los resultados del monitoreo deben ser reportados anualmente a la Autoridad Ambiental Competente y deben incluir observaciones visuales, registros de recolección, análisis y evaluación de los resultados de los muestreos.
		Art. 486	La toma de muestras que tiene como objetivo la evaluación y análisis de la calidad ambiental en proyectos, obras o actividades. Los operadores son responsables de realizar los muestreos para cumplir con el plan de monitoreo del plan de manejo ambiental y para determinar la calidad ambiental de una descarga, emisión, vertido o recurso. Los muestreos deben realizarse de acuerdo con las normas técnicas vigentes y, si es necesario, utilizando normas o estándares aceptados internacionalmente.

Continuación **Tabla 2**

No	Marco Legal	Artículo	Resumen
3	Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	Art. 492 y 493	Una auditoría ambiental es un proceso documentado e independiente que evalúa el cumplimiento de requisitos legales, planes de manejo y otras autorizaciones administrativas para proyectos o actividades que puedan afectar al medio ambiente. También considera los riesgos e impactos ambientales que pudieran haberse generado durante un período determinado. La norma técnica emitida por la Autoridad Ambiental Nacional define los criterios y lineamientos para la elaboración de las auditorías ambientales.
		Art. 759	Expresa que las descargas de aguas residuales están prohibidas si es que no se cumplen los parámetros establecidos por las normas nacionales que regulan los límites permisibles de descargas en cuerpos de agua dulce y marinas

2.3.1 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Según la norma complementaria al COA, el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, presenta los límites permisibles de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público. Estos límites aplican para descargas industriales y domésticas, es decir, que las descargas industriales deben entrar dentro de estos rangos, en el caso de que se excedan los límites permisibles deben tener un pretratamiento antes de la descarga al sistema de alcantarillado público (COA, 2017). En la **tabla 3** se presentan los límites de descarga que deberían ingresar al sistema de alcantarillado público.

Tabla 3: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, según el TULSMA

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500
Fósforo Total	P Total	mg/l	15
Nitrógeno Total Kjeldahl	N Total	mg/l	60
Potencial Hidrógeno	pH	-	6 – 9
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4-2	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles al Hexano	mg/l	70
Coliformes Totales	NMP	NMP/100ml	
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Cromo	Cr	mg/l	0.5
Estaño	Sn	mg/l	5
Hierro	Fe	mg/l	25
Manganeso	Mn	mg/l	10
Mercurio	Hg	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	2
Plata	Ag	mg/l	0.5
Plomo	Pb	mg/l	0.5
Selenio	Se	mg/l	0.5
Cinc	Zn	mg/l	10

Fuente: Extraído de la Tabla 8 (TULSMA, 2018)

2.3.2 Límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce

Según la norma complementaria al COA, el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Las aguas residuales que no estén cumpliendo con la norma, sea de origen público o privada deberán tratar adecuadamente para entrar dentro de los parámetros permisibles (COA, 2017). En la **tabla 4** se presentan los límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce.

Tabla 4: Límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua dulce, según el TULSMA

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Fósforo Total	P Total	mg/l	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	N Total	mg/l	30
Potencial Hidrógeno	pH	-	6 – 9
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4-2	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0.5
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles al Hexano	mg/l	30
Coliformes Totales	NMP	NMP/100ml	
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cobre	Cu	mg/l	1
Hierro	Fe	mg/l	10
Manganeso	Mn	mg/l	2
Mercurio	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2

Fuente: Extraído de la Tabla 9 (TULSMA, 2018)

2.3.3 Auditoría Ambiental

Una auditoría ambiental es un proceso documentado y sistemático que evalúa el desempeño ambiental de una organización con el objetivo de identificar áreas de mejora y garantizar el cumplimiento de las normas y leyes en donde se establecen los límites permisibles. Es un proceso voluntario u ordenado por las autoridades ambientales competentes, además en las auditorías se puede identificar riesgos y oportunidades para mejorar el desempeño ambiental. No se podrán realizar auditorías más de una vez con la misma empresa privada, con el fin de evitar sesgos en los resultados (COA, 2017). Según el Art. 493 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente las auditorías ambientales de cumplimiento se realizan cada 3 años, además los operadores deberán mostrar los valores por servicios administrativos y presentar sus debidas facturas en conjunto con la auditoría ambiental (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

2.3.4 Monitoreo

Según el Art. 208 del Código Orgánico del Ambiente el monitoreo es de carácter obligatorio, el operador estará a cargo de monitorear sus emisiones, descargas y salidas para asegurar que cumplan con los límites permisibles definidos en la normativa ambiental vigente. La Autoridad Ambiental Competente realizará el seguimiento necesario y solicitará al operador el seguimiento de las descargas, vertidos y emisiones, o de la calidad de un recurso que pueda afectarse por su actividad (COA, 2017).

El operador cubrirá los costos asociados con el monitoreo. En cualquier momento las autoridades competentes podrán disponer a los sujetos de control actividades de monitoreo de la calidad ambiental de sus operaciones. En el Art. 484 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, establece que los operadores deberán reportar los resultados de los monitoreos como mínimo una vez por año a la Autoridad Ambiental Competente (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

2.3.5 Control

Según el Art. 482 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, el control ambiental debe ser de manera permanente formado por herramientas de gestión que faciliten el seguimiento, el control sistemático, periódico, continuo o permanente del cumplimiento de los límites admisibles que se establecen en la normativa ambiental vigente. Toda la información recolectada debe estar disponible públicamente en el marco de la Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

2.4 Procesos estadísticos de medición

Los procesos estadísticos de medición son métodos y técnicas que se emplean para medir y cuantificar variables de una muestra o población que tiene como objetivo obtener información relevante y útil sobre características específicas de variables de interés. Son esenciales para investigación científica y social, ya que permiten generar información precisa y confiables sobre el comportamiento y las características de la población o muestra de un estudio. Todos estos procesos se pueden utilizar para la toma de decisiones informadas en diversos campos de acuerdo con las necesidades requeridas por el estudio realizado (Gamboa, 2018).

2.4.1 Probabilidad

La probabilidad es un cálculo matemático que se utiliza para cuantificar la incertidumbre o el grado de certeza asociado a un evento o suceso futuro. Se emplea para la creación de modelos en donde se plantean situaciones donde pueden existir varios resultados posibles o eventos en el cual no se puede predecir con certeza que ocurrirá. La probabilidad valora que tan posible es que suceda un evento, teniendo una utilidad en varios campos, incluyendo la estadística, física, ingeniería, economía, biología, entre otros campos. Es una herramienta esencial para la toma de decisiones conociendo la probabilidad de los eventos a ocurrir (Walpole et al., 2012).

2.4.2 Risk Simulator

El *Software Risk Simulator* es una herramienta que funciona como complemento de Excel que permite ejecutar análisis de distintos tipos de riesgos. El software permite realizar pronósticos de series históricas, la ejecución de la simulación de Montecarlo y la generación de miles de escenarios, pronósticos estocásticos, modelos de predicción, toma de decisiones, entre otros. Permite la gestión de cualquier escenario en la toma de decisiones independientemente del área en donde se desenvuelva las actividades de riesgo (EPN, 2019).

2.4.3 Método de Montecarlo para la especificación de probabilidades

El “método de Montecarlo” se fundamenta en la creación de modelos. Mediante una distribución de probabilidad puede generar una infinidad de resultados posibles para cualquier factor con incertidumbre. Es una técnica de simulación que se utiliza para resolver problemas matemáticos y estadísticos mediante la generación de números aleatorios. Es un método muy utilizado para analizar riesgos cuantitativos, asignando valores numéricos a dichos riesgos. También se utiliza para resolver problemas más complejos, como la simulación de sistemas físicos, la optimización de funciones matemáticas y la evaluación de riesgos financieros (Mun, 2012).

De esta manera es posible identificar la probabilidad que separan los valores teóricos con los valores reales. La precisión de los resultados limita el “método de Montecarlo”, ya que depende de la cantidad de números aleatorios generados. Pero en muchas situaciones, el método sigue siendo la mejor opción para tratar problemas complejos y obtener una solución aproximada (Mun, 2012).

2.4.4 Métodos de análisis estadísticos

Los métodos estadísticos son técnicas utilizadas para el análisis de datos y la obtención de conclusiones basadas en evidencias numérica. Estos métodos pueden aplicarse en diferentes áreas para la resolución de problemas y poder tomar decisiones en base de hechos, se utiliza como una herramienta para pronosticar, relacionar y analizar datos numéricos (Montes, 2018). Existen muchos métodos, los más comunes se presentan, a continuación:

- a) Estadística descriptiva: Es el análisis más sencillo. Se utiliza para resumir y describir datos utilizando medidas como: la media, mediana, moda, desviación estándar y el coeficiente de variación. Este análisis permite conocer con un poco más de detalle la situación de toda la información estructurada, se pueden hacer deducciones directas en base a los datos proporcionados (Montes, 2018).
- b) Análisis exploratorio: Este análisis se debe realizar en la primera etapa de cualquier estudio, para evitar obtener datos erróneos. Se utiliza cuando se debe tener un conocimiento básico de la base de datos y a su vez encontrar datos atípicos en la primera etapa de análisis de datos. En esta etapa se desarrolla el planteamiento de la hipótesis, que será demostrada en el análisis de inferencia estadística (Montes, 2018).

- c) Inferencia estadística: Se utiliza para hacer generalizaciones acerca de una población en base a una muestra de datos proporcionando conclusiones con alguna probabilidad o nivel de confianza. Esto incluye la estimación de parámetros, la prueba de hipótesis y la construcción de intervalos de confianza, es decir, no existe una certeza absoluta en base de los datos proporcionados. Es importante considerar que para realizar una inferencia estadística, no se pueden utilizar los mismos conjuntos de datos utilizados para plantear la hipótesis (Montes, 2018).
- d) Análisis predictivo: Es un análisis que se utiliza para medir la fuerza de la relación entre dos variables. Esto es útil para identificar patrones y tendencias, es decir, conocer las relaciones entre variables con eventos pasados, para explorar y predecir resultados en situaciones futuras. Este análisis es ideal para una gran cantidad de variables con difícil comprensión para la mente del ser humano. Se utilizan diferentes técnicas analíticas y estadísticas para crear modelos predictivos (Montes, 2018).
- e) Análisis de regresión: Es un método de estimación en donde se utiliza para modelar la relación entre una o más variables independientes y una variable dependiente. Incluyen salidas con R^2 y valores P, esto se utiliza a menudo en la predicción y pronóstico (Montes, 2018).

2.4.5 Tratamiento de variables en el tiempo

En el tratamiento de las variables en el tiempo depende del tipo de análisis que se requiera o el que se esté llevando a cabo de acuerdo con los objetivos que se esté planteando la investigación. El tratamiento de estas variables implica la combinación de muchas técnicas estadísticas y algunas herramientas de visualización de resultados para identificar patrones y tendencias en los datos presentados, teniendo en cuenta la relación con estas variables (Villarreal, 2016). Existen muchas técnicas comunes para tratar estas variables, a continuación, se presentan las más importantes:

- a) Análisis de tendencias: Se emplea cuando se quiere estudiar la dirección y la fuerza de la tendencia de una variable a lo largo del tiempo, muestra un aumento o baja invariable en el tiempo. Se realiza mediante gráficos de líneas o series de tiempo (Villarreal, 2016).
- b) Análisis de variación: Se emplea cuando se requiere identificar patrones estacionales o recurrentes de una variable a lo largo del tiempo. Se incluyen variaciones mensuales, trimestrales o anuales (Villarreal, 2016).
- c) Análisis de ciclos: Se emplea cuando se requiere identificar patrones de ciclos económicos en una variable. Aquí se identifican patrones recurrentes que se repitan en intervalos regulares (Arévalo et al., 2001).

- d) **Análisis de regresión:** Tiene como meta estudiar la relación entre varias variables, es decir, una especie de predicción a lo largo del tiempo. Esto ayuda a determinar si hay una interrelación causal entre las variables que intervienen en el análisis (Villarreal, 2016).
- e) **Análisis de series de tiempo:** Se emplea cuando se requiere modelar la dinámica de una variable a lo largo del tiempo. Las mediciones pueden realizarse cada hora, diario, semanal, mensual o anualmente. Las series de tiempo muestran un movimiento gradual hacia valores altos o muy bajos en lapsos grandes de tiempo, por lo que los datos pueden presentar fluctuaciones aleatorias. También se lo conoce como tendencia de la serie de tiempo, aquí incluye la identificación de tendencias, patrones estacionales y efectos de eventos específicos a lo largo del tiempo (Villarreal, 2016).

2.4.6 Tratamiento de la descriptiva de las series de contenidos

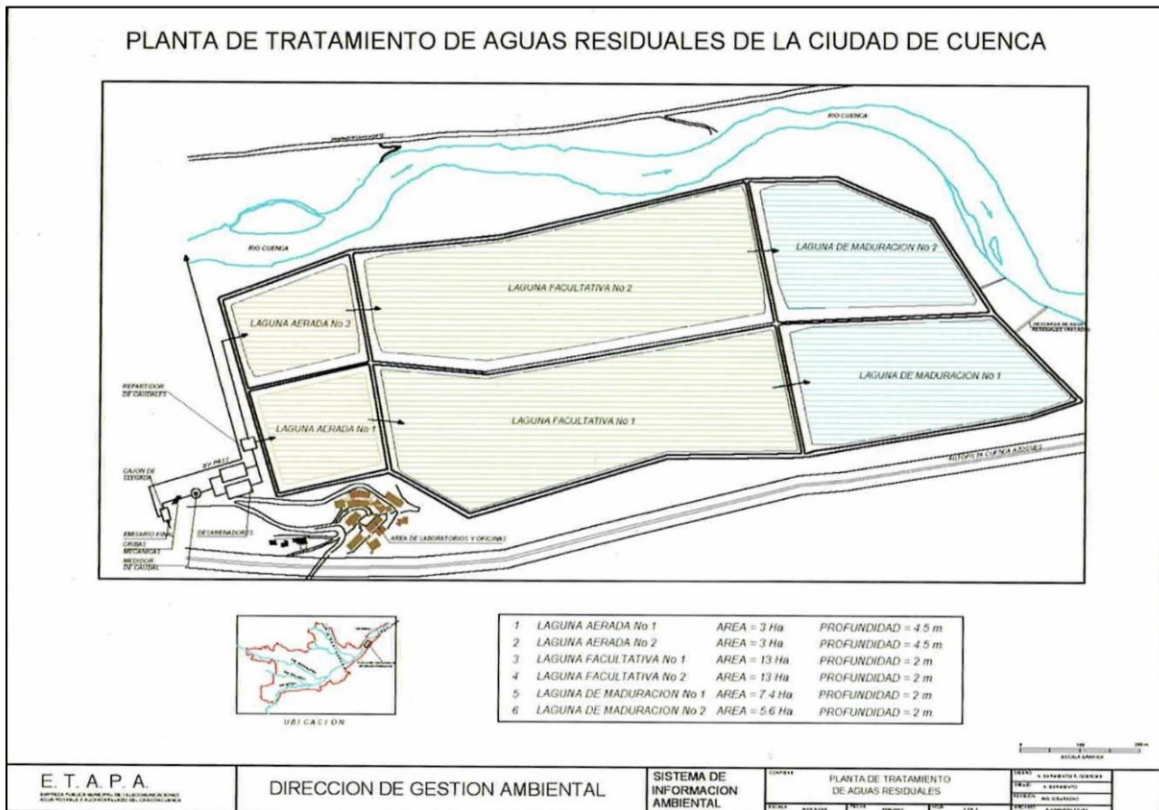
La forma en que las personas describen una variedad de contenido implica identificar y analizar patrones y tendencias de manera en que las personas retienen la información. Esto puede implicar la identificación de categorías y subcategorías, la asociación de conceptos y sus relaciones, el desarrollo de modelos mentales o ideogramas y el desarrollo de mapas o diagramas conceptuales. Existen numerosas técnicas y herramientas que se pueden utilizar para examinar varios tipos de contenido, incluida la observación directa, entrevistas, encuestas, análisis de contenido, entre otros. Estas técnicas poseen ventajas y desventajas, y se eligen de acuerdo con los objetivos del estudio y su entorno. Es una herramienta crucial para comprender cómo las personas organizan y procesan la información a lo largo del tiempo. Esta información puede ser útil en una variedad de contextos, como la educación, la investigación, entre otros. (Pereira, 1989).

2.5 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Cuenca (PTAR-Cuenca) está ubicada en el km 8 ½ de la carretera Cuenca-Azogues, al noroeste de la ciudad en el barrio Ucubamba. Desde 1983, ETAPA EP, ha sido la encargada de proporcionar a la ciudad agua potable y gestionar el servicio del saneamiento, ha puesto en marcha una serie de iniciativas destinadas a mejorar la calidad de las fuentes hídricas de Cuenca.

A los márgenes de los ríos se construyeron aproximadamente 45 km de interceptores, y también se construyó la PTAR de Ucubamba; que opera desde noviembre de 1999 y actualmente se encuentra en su fase operativa (ETAPA EP, 2007). La PTAR se construyó con un caudal diseño de 1860 lt/s, a su vez tiene una capacidad horaria de caudal máximo de 2500 lt/s. La PTAR posee Estructuras de Tratamiento Preliminar, además se construyó un área de tratamiento independiente compuesto por dos módulos, que poseen Lagunas de Estabilización, como se observa en la **figura 1**.

Figura 1: Distribución de la PTAR de Ucubamba



Fuente: (ETAPA EP, 2007)

2.5.1 Tratamiento Preliminar

2.5.1.1. Cajón de Llegada By-pass – Compuerta de Admisión

El cajón de llegada realiza la función de asegurar que en épocas de lluvia la PTAR de Ucubamba no experimente un caudal mayor al de diseño (2500 lt/s). Esto se realiza liberando la presión del agua que llega, permitiendo que el agua residual fluya a través del by-pass durante las temporadas de lluvia y cuando se requiere una limpieza o un proceso de mantenimiento. Dado que el sistema de alcantarillado de Cuenca es en gran parte combinado, la ciudad experimenta un promedio de 40 horas de lluvia al año, para garantizar que no ingrese un caudal mayor al diseñado, se utiliza la compuerta de admisión. (ETAPA EP, 2007).

2.5.1.2. Cribas Mecánicas Autolimpiantes

Las cribas mecánicas auto limpiantes, están ubicadas bajo el cajón de llegada, tienen como objetivo recolectar y remover desechos sólidos mayores a 20 micras para evitar que obstaculicen los procesos biológicos del sistema de tratamiento de las lagunas evitando que se convierta en un hábitat para vectores. Las barras rectangulares tienen unas dimensiones de 10 * 50 milímetros, con 20 milímetros entre cada barra con un ángulo de inclinación de 75 grados (ETAPA EP, 2007).

2.5.1.3. Deflectores de Caudal – Desarenadores – Transportador de Arena

Su objetivo es retener materiales o partículas de arena mayores a 0.2 milímetros o cuya velocidad de decantación sea mayor a los sólidos orgánicos putrescibles. Los desarenadores se encuentran aguas abajo de las cribas y han sido creados para que trabajen con las condiciones más desfavorables operando con todo el caudal de diseño. Los deflectores de caudal tienen por objetivo frenar la velocidad de ingreso de las aguas residuales a los desarenadores orientando el sentido del flujo (ETAPA EP, 2007).

2.5.2 Lagunas Aireadas

Las lagunas aireadas son la primera etapa del tratamiento biológico. Su objetivo es la asimilación de la materia orgánica soluble cortos periodos de almacenamiento, pero funcional para la eliminación de casi un 90% de DBO. Aquí se deben mantener las condiciones de oxígeno para la asimilación del material soluble en biomasa, realizando la separación de sólidos y la disminución de la carga orgánica hasta un punto requerido para las siguientes lagunas. Aquí se acumulan lodos (ETAPA EP, 2007).

2.5.3 Lagunas Facultativas

Las lagunas tienen que cumplir dos requisitos para funcionar como facultativas, que son: tener una apropiada carga facultativa y un correcto balance de oxígeno que sea capaz de conservar las condiciones aeróbicas sobre el estrato anaeróbico del fondo. Los principales objetivos de las lagunas facultativas son asimilar y almacenar los sólidos biológicos producidos en las lagunas aireadas, además de presentar las condiciones adecuadas de materia orgánica y balance de oxígeno para tener las condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana, que se produce cuando las algas en las horas de mayor insolación presentan una gran actividad fotosintética, consumiendo bicarbonatos y carbonatos, aumentando el pH y la mortalidad bacteriana, todo esto asegurando la remoción de nemátodos intestinales. Aquí se acumulan lodos (ETAPA EP, 2007).

2.5.4 Lagunas de Maduración

Es la tercera etapa de la serie del tratamiento y la función de las lagunas de maduración es muy similar a las lagunas facultativas con la excepción de la capacidad de almacenar lodos, es decir, presentan condiciones de oxígeno adecuadas para una adecuada mortalidad bacteriana. En esta etapa no llegan sólidos biológicos que no sean algas unicelulares que prácticamente no generan lodos, de tal modo que la limpieza es innecesaria. Por ende, todo el proceso es exactamente igual al proceso que se presentan en las lagunas facultativas (ETAPA EP, 2021). Están compuestas por dos lagunas de maduración, una superior y otra inferior. Sus dimensiones son las siguientes:

- Área de las lagunas: 7.4 ha (laguna superior 1), 5.6 ha (laguna inferior 2)
- Profundidad de las lagunas: 2 m
- Volumen: 148000 m³ (laguna superior 1), 112000 m³ (laguna inferior 2)

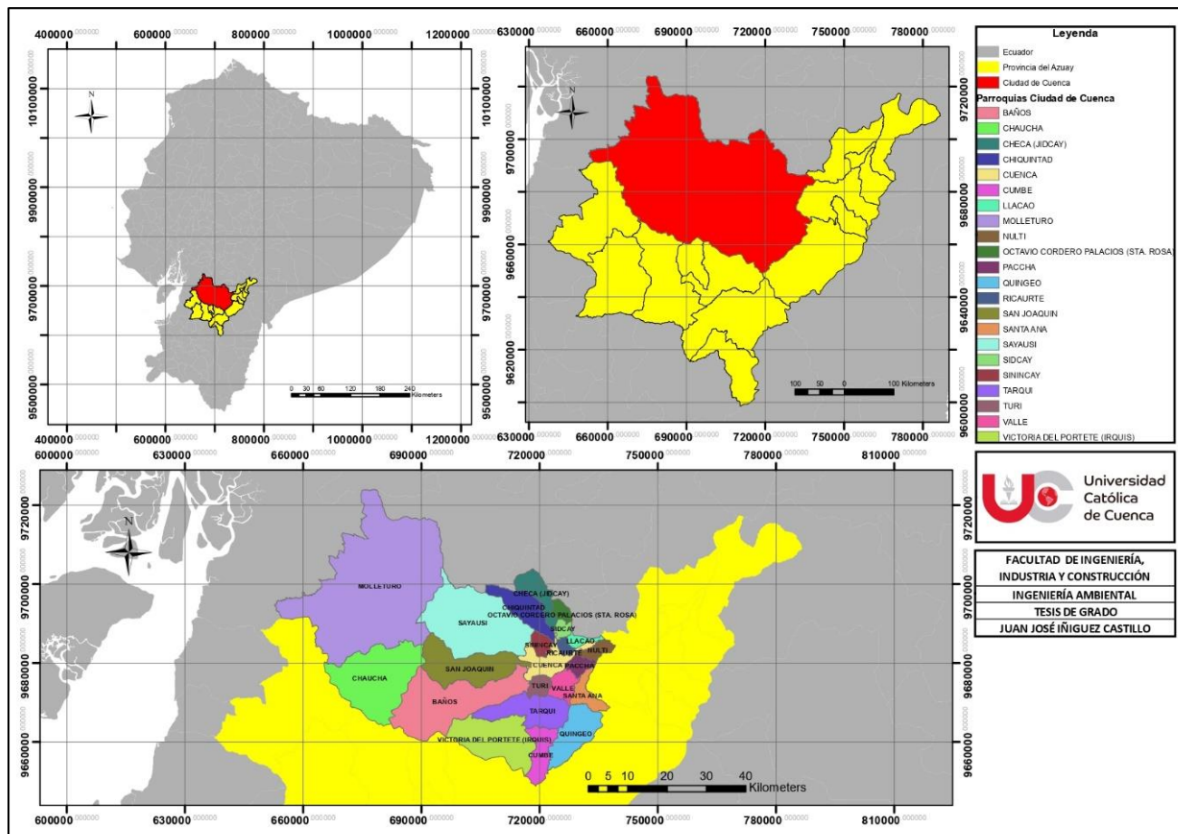
CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la zona de estudio

El trabajo de titulación se realizó en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La ciudad se encuentra a 2550 m s.n.m en la sierra austral atravesada por la cordillera de los Andes. Posee una población de 580.000 habitantes (INEC, 2010). Es distinguida por su arquitectura, sus calles y sus elementos coloniales con toques europeos; reconocida por la UNESCO el 1 de diciembre de 1999 como “Patrimonio Cultural de la Humanidad” (Ministerio de Turismo, 2019). La **figura 2** presenta una descripción visual sobre la ubicación de la ciudad de Cuenca.

Figura 2: Ubicación de la ciudad de Cuenca



Fuente: INEC, 2010

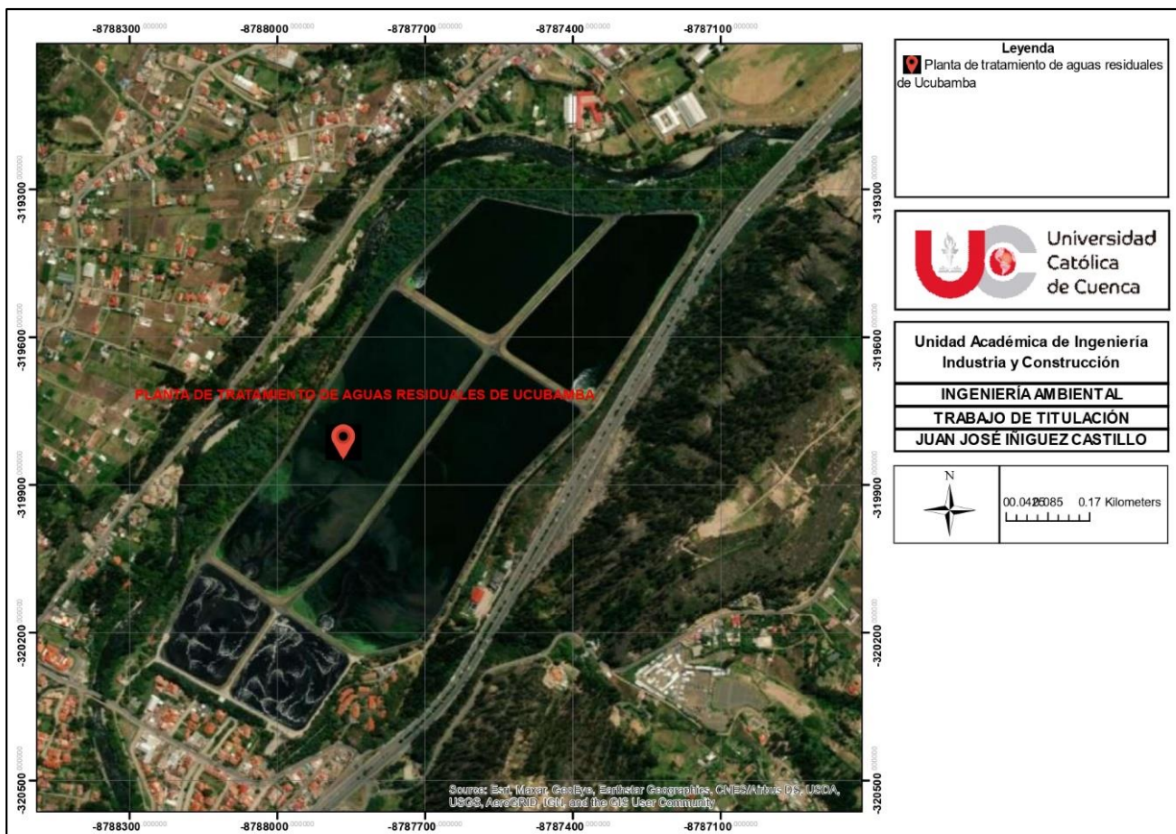
Elaboración: Propia

La ciudad de Cuenca posee una temporada templada que dura aproximadamente de 3 a 6 meses (15 de enero al 3 de mayo), con una temperatura promedio de 15 °C. El mes más cálido de la ciudad es el mes de marzo, con una temperatura máxima promedio de 17 °C. Los meses de julio, agosto y septiembre son la temporada fresca con una temperatura promedio de 14 °C, con julio el mes más frío del año con temperaturas máximas promedios de 12 °C (Weather Spark, 2021).

El mes con más precipitación del año es el mes de marzo con un promedio de 16.5 días con por lo menos de 1 mm de precipitación. El mes con menos precipitación en la ciudad de Cuenca es el mes de agosto con un promedio de 4.2 días con por lo menos 1mm de precipitación con un promedio de 14 mm de lluvia. La precipitación con mayor presencia en la ciudad es la lluvia, dando en el mes de marzo una probabilidad promedio de lluvia del 55% y con un promedio de lluvia de 94 mm (Weather Spark, 2021).

En la **figura 3** se observa la zona en donde se realizó el estudio. La PTAR de Ucubamba, ubicada en la ciudad de Cuenca al sur del Ecuador en la panamericana norte Km 8 1/2. Posee un área de 45 hectáreas aproximadamente y llega un 95% de las aguas residuales de la ciudad. Es una planta construida en base a la extracción y deshidratación de lodos que fueron acumulados previamente en sus lagunas de oxidación (Calderon, 2018).

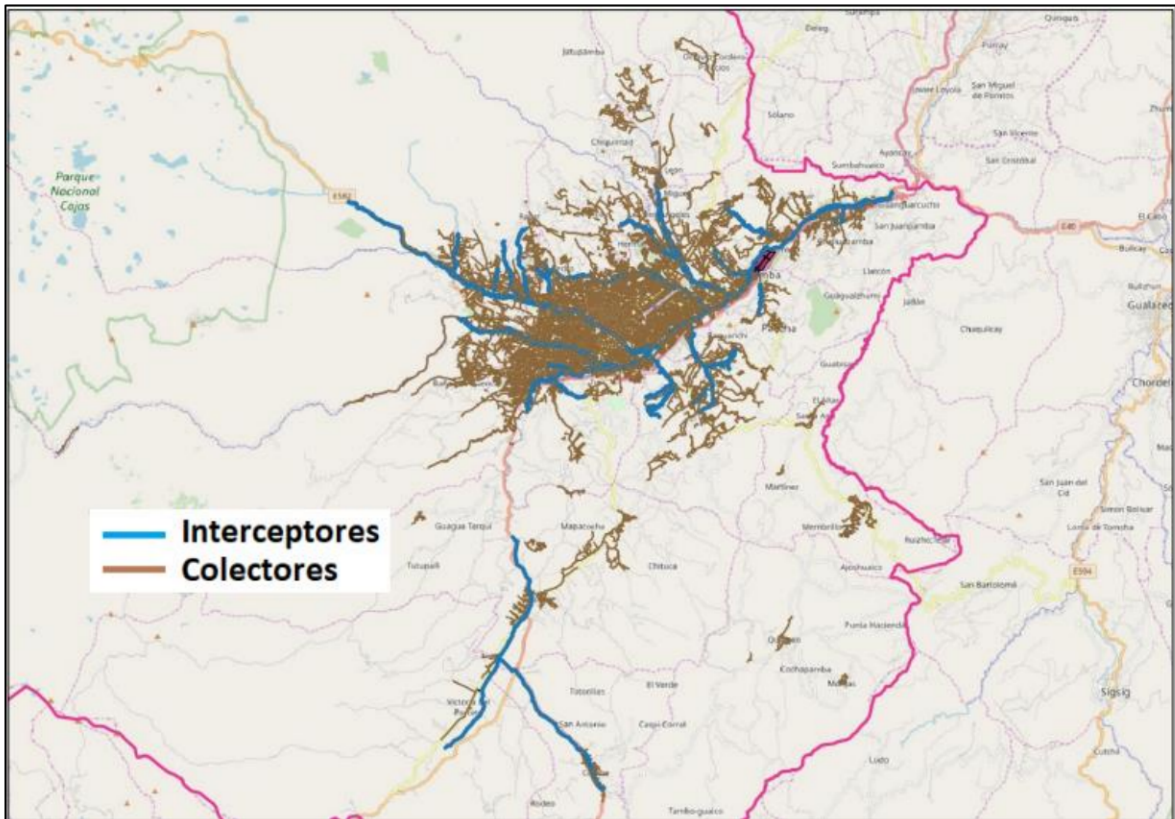
Figura 3: Ubicación de la PTAR de Ucubamba



Elaboración: Propia

Los límites geográficos o administrativos de este trabajo fueron en el Cantón Cuenca. Se puede observar en la **figura 4** los interceptores y colectores que están conectadas a la PTAR de Ucubamba y el área de toda la ciudad que se encuentra conectada a la PTAR con las descargas de viviendas e industrias

Figura 4: Interceptores y Colectores conectados a la PTAR de Ucubamba



Fuente: (ETAPA EP, 2021)

En la **Tabla 5** se observa el porcentaje de conexiones y cobertura de la PTAR de Ucubamba en la ciudad de Cuenca que alcanza casi el 95% de cobertura de alcantarillado con unas conexiones aproximadas de 129.86; y con una cobertura de casi el 86% de saneamiento.

Tabla 5: Porcentajes de Cobertura y Conexiones a la PTAR de Ucubamba

INDICADOR	VALOR
Cobertura de Alcantarillado	94.69%
Conexiones de Alcantarillado	129.86
Cobertura de Saneamiento	85.65%

Fuente: Extraído de (ETAPA EP, 2021)

Elaboración: Propia

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Para la población de este estudio se tomó en cuenta al caudal de entrada que proviene de las 129.866 conexiones de red pública de alcantarillado de la ciudad de Cuenca (ETAPA EP, 2021), que son tratadas en la PTAR de Ucubamba.

3.2.2 Muestra

La muestra se tomó en base a su población que corresponden a los datos diarios de caudal efluente y afluente de la PTAR de Ucubamba, y los parámetros de medición de contaminación contenidos en el caudal. La muestra fue integrada por la totalidad de los datos disponibles en ETAPA EP (Operador de la planta) en un periodo continuo de los años 2016 – 2020 (enero a junio).

3.2.3 Tipo de muestreo

El tipo de muestro aplicado para este estudio se basó en un muestro no probabilístico, del tipo denominado muestreo por conveniencia, que se basó en la información disponible, que en el caso de estudio corresponde al 100% de datos registrados continuamente entre los años 2016 – 2020 (enero a junio) superior al periodo normativo entre auditorias (3 años), es decir, un conglomerado que garantizó representatividad y un control de la muestra (Muguira, 2022).

3.3 Metodología

La obtención de la información requerida para este trabajo de titulación se realizó mediante una solicitud al Subgerente de Operaciones de Agua Potable y Saneamiento de la PTAR de Ucubamba en donde se detalló del porque se requiere la información y el interés de obtener datos sobre los parámetros de calidad del agua cruda que entra en la PTAR, al igual que los valores de caudal que entran en la PTAR, así mismo, se solicitó información de la calidad de salida del agua tratada en sus dos lagunas de maduración de acuerdo con los estándares que cumplen en base a la normativa para ser vertido en el río. La información obtenida reporta datos de afluente y efluente de los parámetros de contaminación expresados en (mg/L y NMP/ 100 ml) y caudal de entrada expresado en (m³/seg) de la PTAR, recolectados en los años 2016, 2017, 2018, 2019, hasta junio del 2020.

Todos los datos de caudal y parámetros de contaminación de la PTAR de Ucubamba fueron analizados mediante medidas estadísticas: mínimo, media, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación, es decir, estadística descriptiva mediante el software Excel. Se utilizó para analizar y resumir los datos proporcionadas de tal manera que se pueda saber su distribución, dispersión, movimientos aleatorios, tendencia central y patrón de comportamiento en el tiempo de los valores, para tener un mejor conocimiento de los datos utilizados.

3.3.1 Análisis del Caudal (afluente)

Los datos proporcionados de caudal fueron exclusivamente del afluente de la PTAR puesto que en entrevistas realizadas a funcionarios de ETAPA que se encuentran a cargo del correcto funcionamiento de la planta, se comentó que la medición del caudal se realiza únicamente en la entrada y no en la salida (efluente) debido a que la PTAR se encuentra en un sistema cerrado por el cual no existe ningún tipo de infiltración, además, la evaporación es imperceptible y la decantación de sólidos no afecta significativamente a su volumen, por ende no existen grandes pérdidas en el sistema que afecten el caudal de salida. Por tanto, en función de la información suministrada por los

funcionarios de ETAPA EP, para los cálculos realizados se debe considerar que el caudal de entrada es el mismo que el caudal de salida de la PTAR de Ucubamba.

La **tabla 6** presenta un ejemplo de los datos proporcionados del caudal medio diario en el afluente de la PTAR de Ucubamba expresado en (m³/seg) de los años 2016 – hasta junio del 2020.

Tabla 6: Caudal Medio Diario en el Afluente PTAR Ucubamba (m3/seg.) - 2016

CAUDAL MEDIO DIARIO EN EL AFLUENTE PTAR UCUBAMBA (m3/seg.) - AÑO 2016												
DIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1.486	1.708	1.629	1.777	1.793	1.761	1.698	1.729	1.738	1.776	1.559	1.670
2	1.525	1.605	1.619	1.750	1.826	1.785	1.687	1.731	1.662	1.732	1.555	1.728
3	1.491	1.736	1.611	1.768	1.820	1.771	1.650	1.703	1.608	1.764	1.532	1.780
4	1.546	1.742	1.829	1.794	1.799	1.806	1.638	1.710	1.562	1.761	1.581	1.676
5	1.602	1.722	1.971	1.787	1.776	1.763	1.637	1.691	1.693	1.779	1.606	1.707
6	1.647	1.597	1.683	1.751	1.811	1.784	1.746	1.664	1.631	1.772	1.609	1.744
7	1.648	1.491	2.133	1.744	1.788	1.791	1.761	1.706	1.487	1.762	1.634	1.615
8	1.598	1.641	1.752	1.786	1.704	1.741	1.742	1.748	1.432	1.686	1.729	1.619
9	-	1.621	1.819	1.775	1.774	1.774	1.730	1.749	1.463	1.598	1.674	1.657
10	1.651	1.789	1.849	1.787	1.803	1.779	-	1.739	1.552	1.695	1.737	1.652
11	1.794	1.786	1.810	1.768	1.795	1.788	-	1.771	1.547	1.785	1.757	1.588
12	1.695	1.727	1.716	1.774	1.805	1.781	1.758	1.751	1.509	1.760	1.797	1.630
13	1.746	1.648	1.733	1.786	1.764	1.766	1.769	1.721	1.546	1.768	1.768	1.542
14	1.715	1.609	1.830	1.767	1.743	1.740	1.757	1.668	1.628	1.831	1.752	1.592
15	1.711	1.618	1.710	1.804	1.675	1.656	1.775	1.729	1.740	1.810	1.738	1.756
16	1.667	1.569	-	1.782	1.735	1.618	1.625	1.786	1.742	1.817	1.741	1.808
17	1.566	1.602	-	1.788	1.777	1.687	1.683	1.776	1.740	1.844	1.752	1.748
18	1.632	1.601	1.943	1.753	1.718	1.631	1.820	1.811	1.656	1.762	1.735	1.732
19	1.688	1.670	1.780	1.780	1.699	1.703	1.802	1.805	1.687	1.762	1.678	1.775
20	-	1.669	1.796	1.780	1.713	1.793	1.793	1.772	1.701	1.753	1.653	1.736
21	-	1.554	1.781	1.768	1.708	1.796	1.818	1.729	1.766	1.860	1.657	1.762
22	1.583	1.652	1.820	1.779	1.691	1.741	1.797	1.795	1.817	1.795	1.638	1.773
23	0.000	1.661	1.841	1.760	1.749	1.799	1.790	1.809	1.809	1.743	1.644	-
24	1.527	1.636	1.806	1.767	1.788	1.798	1.728	1.768	1.777	1.796	1.659	-

Continuación de la **Tabla 6**

DIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
25	1.538	1.634	1.757	1.768	1.804	1.812	1.789	1.727	1.702	1.780	1.649	-
26	1.570	1.662	1.800	1.746	1.799	1.751	1.724	1.737	1.758	1.744	1.672	-
27	1.699	1.567	1.804	1.728	1.746	1.771	1.714	1.708	1.717	1.744	1.713	-
28	1.683	1.568	1.823	1.772	1.732	1.734	1.754	1.618	1.740	1.674	1.603	-
29	1.715	1.612	1.792	1.767	1.741	1.774	1.763	1.647	1.714	1.682	1.647	-
30	1.808		1.788	1.771	1.765	1.744	1.756	1.602	1.752	1.625	1.681	-
31	1.787		1.820		1.792		1.691	1.635		1.643		-
MÁXIMO	1.808	1.789	2.133	1.804	1.826	1.812	1.820	1.811	1.817	1.860	1.797	1.808
MEDIO	1.583	1.645	1.795	1.771	1.762	1.755	1.738	1.727	1.663	1.752	1.672	1.695
MÍNIMO	0.000	1.491	1.611	1.728	1.675	1.618	1.625	1.602	1.432	1.598	1.532	1.542
Caudal Mes	4239199	4121046	4806966	4590242	4720262	4547808	4654697	4625214	4309262	4691504	4332992	4540005
By Pass (medio)	0.085	0.064	0.282	0.618	0.151	0.284	0.090	0.050	0.085	0.145	0.073	0.136

Fuente: ETAPA EP

La tabla muestra las variables medidas de caudal en 31 días por cada mes del año. Existen días en los cuales el caudal no fue medido por los operadores por lo que, en el año 2016 se obtuvieron 366 datos de caudal, en los años 2017, 2018, 2019 se obtuvieron 365 datos de caudal y en el año 2020 se obtuvieron 152 datos de caudal debido a que solo fueron proporcionados hasta el mes de junio. Además, en la tabla 6 se muestran valores del caudal máximo, medio y mínimo por cada mes del año expresado en (m³/mes), con un by-bass (medio) por mes expresado en (m³/seg) en donde el caudal excedente es desviado al río debido a que la PTAR de Ucubamba admite un caudal máximo para su tratamiento. Únicamente para el análisis del comportamiento del caudal se utilizó toda la base datos proporcionada, sin embargo, para el cálculo de la carga contaminante se utilizó los datos de caudal en el cual la muestra fue tomada en el mismo día de los parámetros de contaminación.

3.3.2 Concentración de los parámetros de calidad

Los datos proporcionados por parte de ETAPA EP fueron de los años 2016 hasta junio del 2020, por cada mes del año divididos en tres etapas, que son: Calidad Agua Cruda, Calidad Maduración 1 y Calidad Maduración 2. En la **tabla 7** se presenta una recopilación sobre cada parámetro de concentración distribuidos con su respectiva frecuencia de toma de muestra y su unidad de medida que facilitó la construcción del espectro de escenarios, frecuencia que es asumida por los procesos internos de ETAPA EP en función de la capacidad operativa y económica de la empresa, según la información proporcionada por los funcionarios a cargo de la operación de la PTAR que fueron entrevistados.

Tabla 7: Frecuencia de la toma de muestras de cada parámetro

Frecuencia	Parámetro	Unidad
2 veces por semana por mes	DBO ₅	mg/L
	DQO	mg/L
	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L
	SÓLIDOS TOTALES	mg/L
	COLIFORMES TOTALES	NMP/ 100 ml
1 vez por semana por mes	FOSFORO TOTAL	mg/L
	NITRÓGENO AMONIACAL	mg/L
	NITRÓGENO ORGÁNICO	mg/L
	pH	
	SULFUROS	mg/L
	SUST. SOLUBLES AL HEXANO	mg/L
	Al	mg/L
	Fe	mg/L
	Mn	mg/L
1 vez por mes	SULFATOS	mg/L
	As	mg/L
	Ba	mg/L
	Cd	mg/L
	Cu	mg/L
	Co	mg/L
	Cr	mg/L
	Sn	mg/L
	Hg	mg/L
	Ni	mg/L
	Ag	mg/L
	Pb	mg/L
	Se	mg/L l
	Zn	mg/L

Fuente: Extraído de (ETAPA EP)

Elaboración: Propia

La **Tabla 8**, **Tabla 9** y **Tabla 10** presentan ejemplos de enero del año 2016 hasta junio de 2020, en base a los datos proporcionados de los parámetros de contaminación en el afluente y efluente de la PTAR de Ucubamba.

Tabla 8: Parámetros de Calidad Agua Cruda (Afluente)

Fecha	DBO ₅	DQO	FOSFORO TOTAL	NITROGENO AMONIAICAL	NITRÓGENO ORGÁNICO	pH	SÓLIDOS SEDIMENTABLES *	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SÓLIDOS TOTALES	SULFATOS	SULFUROS	SUST. SOLUBLES AL HEXANO	COLIFORMES TOTALES
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/1/2016	113	266	6.96	17.82	9.97	7.08	2	174	429	26.92	0.1	21.2	2.20E+07
6/1/2016		796					19	1146	1410				7.00E+06
11/1/2016	113	395	4.78	18.42	16.01	7.24	10	237	585		0.1	4	4.90E+07
13/1/2016	160	473					2.5	438	722				1.30E+07
18/1/2016	120	382	4.73	11.48	13.89	7.01	1.5	288	573		0.1	14.4	3.30E+07
20/1/2016	125	439					2.5	294	579				4.90E+06
25/1/2016	130	450	5.84	8.32	15.45	7.02	5	502	779		0.1	13.2	2.20E+07
27/1/2016	146	501					11	260	588				3.30E+07
1/2/2016	105	466	4.62	13.07	38.91	7.22	8	674	806	62.5	0.1	17.6	7.00E+07
3/2/2016	158	563					7.5	496	806				4.90E+06
10/2/2016	102	291					4.5	291	507				7.90E+06
15/2/2016	199	531	5.77	13.67	21.98	7.12	20	274	582		0.1	26.8	2.10E+07
17/2/2016	238	763					22	770	1080				2.10E+07
24/2/2016	273	895					39	772	1074				7.90E+07
14/3/2016	59	170	3.43	5.35	11.29	7.13	7	156	600	55.44	0.1	61.7	2.20E+06
16/3/2016	109	289					1.9	295	627				1.70E+07
21/3/2016	44	177	3.94	7.13	10.69	6.99	0.6	224			0.1	200.4	7.90E+06
23/3/2016	155	358					5	562	904				1.30E+07
28/3/2016	148	701	5.05	12.18	18.12	6.98	20	316	602		0.8	37.6	1.30E+07
30/3/2016	80						0.7	86	401				2.20E+07

Fuente: Extraído de (ETAPA EP)

Elaboración: Propia

Tabla 9: Parámetros Calidad Maduración 1

Fecha	DBO ₅	DQO	FOSFORO TOTAL	NITROGENO AMONIACAL	NITRÓGENO ORGÁNICO	pH	SÓLIDOS SEDIMENTABLES *	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SÓLIDOS TOTALES	SULFATOS	SULFUROS	SUST. SOLUBLES AL HEXANO	COLIFORMES TOTALES
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/1/2016	31	134	2.77	19.63	8.15	7.56	0.1	42	325	33.17	0.1	16.8	1.10E+05
6/1/2016	43	163					0	47	329				1.10E+05
11/1/2016		202	2.94	16.61	14.2	7.29	0.1	76	359		0.1	3.6	5.40E+05
13/1/2016	37	165					0.4	46	330				5.40E+05
18/1/2016	32	96	1.95	12.69	13.89	7.18	0	49	315		0.1	11.6	2.40E+05
20/1/2016	49	98					0.3	72	360				1.70E+05
25/1/2016	37	189	2.4	13.67	13.07	7.3	0.1	70	359		0.1	11.2	3.30E+04
27/1/2016	67	187					0	58	340				9.20E+05
1/2/2016	40	181	2.48	16.04	12.48	7.16	0.1	55	347	60.5	0.1	26	1.60E+06
3/2/2016	27	166					0.1	42	328				3.50E+05
10/2/2016	28	116					0.1	39	338				7.90E+04
15/2/2016	22	146	1.56	14.85	16.04	7.32	0.3	26	316		0.1	10.8	2.30E+04
17/2/2016	26	148					0.1	32	310				1.70E+04
24/2/2016	25	116					0.1	37	353				5.40E+05
14/3/2016	31	69	2.85	11.59	8,62	7.11	0.1	42	297	33.22	0.1	30	1.30E+05
16/3/2016	33	78						57	311				7.90E+04
21/3/2016	21	68	1.24	10.1	12.48	6.96		30	308		0.1	54	1.70E+05
23/3/2016	20	54						32	317				7.40E+04
28/3/2016	36	92	1.76	11.59	19.31	7.27		46	356		0.1	19.2	5.40E+05
30/3/2016	42	96						57	372				2.20E+05

Fuente: Extraído de (ETAPA EP)

Elaboración: Propia

Tabla 10: Parámetros Calidad Maduración 2 (Efluente)

Fecha	DBO ₅	DQO	FOSFORO TOTAL	NITROGENO AMONIAICAL	NITRÓGENO ORGÁNICO	pH	SÓLIDOS SEDIMENTABLES *	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SÓLIDOS TOTALES	SULFATOS	SULFUROS	SUST. SOLUBLES AL HEXANO	COLIFORMES TOTALES
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/1/2016	28	105	2.36	20.24	6.95	7.46	0.1	34	331	27.33	0.1	12.8	4.90E+04
6/1/2016	42	179					1.5	70	338				1.30E+05
11/1/2016	35	145	2.71	14.8	15.71	7.21	0.1	49	342		0.1	9.2	1.30E+05
13/1/2016	26	119					0.1	31	314				3.30E+04
18/1/2016	24	78	2.29	13.29	12.08	7.45	0.1	30	293		0.1	6.4	2.40E+05
20/1/2016	26	79					0.1	35	319				1.10E+05
25/1/2016	37	168	2.3	14.85	14.85	7.36	0.1	60	329		0.1		7.00E+04
27/1/2016	55	179					0.4	72	347				5.40E+05
1/2/2016	43	187	2.6	14.85	13.07	7.18	0.1	67	357	58.5	0.1	34	1.70E+05
3/2/2016	43	150					0.1	49	331				7.90E+04
10/2/2016	30	94					0.1	28	325				1.30E+05
15/2/2016	26	127	1.76	6.54	5.94	7.37	0	24	314		0.1	1.2	9.20E+05
17/2/2016	27	153					0.1	28	310				1.60E+05
24/2/2016	50	132					1	60	382				7.90E+04
14/3/2016	26	98	1.52	11.88	9.51	7.31	0.5	42	309	35.44	0.1	23	3.30E+04
16/3/2016	24	84					0.2	37	312				1.70E+04
21/3/2016	19	74	1.34	9.8	12.77	6.98	0.5	31	314	62.8	0.1	2.8	3.30E+04
23/3/2016	25	78					0.2	44	327				7.40E+04
28/3/2016	51	95	3.24	13.67	25.55	7.14	1.5	110	421		0.1	11.2	1.70E+05
30/3/2016	42	93					0.4	86	392				1.40E+05

Fuente: Extraído de (ETAPA EP)

Elaboración: Propia

Las tablas muestran las mediciones realizadas con su respectiva frecuencia y su unidad. A lo largo de los 4 años y medio existen días en los que la PTAR no realizó mediciones, por ende, el número de variables por parámetro depende de la frecuencia en la toma muestra (Calidad Agua Cruda, Calidad Maduración 1, Calidad Maduración 2); un parámetro con una frecuencia de 2 veces por semana se tiene un total aproximado de 1230 datos, un parámetro con una frecuencia de 1 vez por semana se tiene un total de 600 datos y un parámetro con una frecuencia de 1 vez por mes se tiene un total de 60 datos.

Se procedió a la creación de la base de datos para cada parámetro de contaminación, obteniendo el siguiente número de datos por parámetro presentado en la **tabla 11**.

Tabla 11: Número de Variables por Parámetro

Base de Datos	No de Variables
CAUDAL	1113
DBO ₅	1225
DQO	1230
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	1229
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1198
COLIFORMES TOTALES	1204
FOSFORO TOTAL	609
NITRÓGENO TOTAL KJENDAHL	607
pH	608
SULFUROS	606
SUST. SOLUBLES AL HEXANO	601
SULFATOS	158

Fuente: Extraído de (ETAPA EP)

Elaboración: Propia

3.3.3 Cálculo de la relación DQO/DBO₅

Para el cálculo de la relación DQO/DBO₅, con el software de Excel se tomó los datos originales proporcionados por ETAPA EP, primero se realizó un análisis de datos atípicos, posteriormente los datos DQO y DBO₅ del agua cruda se ordenó por fecha en orden cronológico, como se observa en la **tabla 12**. Una vez emparejados, se procedió al cálculo de la relación para obtener la medición de la calidad del agua (**ecuación 7**) con el mismo día de su toma de muestra desde el año 2016 hasta junio del año 2020.

$$\text{Grado de calidad} = \frac{DQO}{DBO_5} \quad (7)$$

DQO = expresado en mg/L

DBO₅ = expresado en mg/L

El cálculo realizado indica el grado de intensidad de la biodegradabilidad de la materia orgánica en la muestra tomada del agua cruda de la PTAR de Ucubamba (afluente).

Tabla 12: Cálculo de relación DQO/DBO₅ (ejemplo)

Agua Cruda			
Fecha	DBO₅	DQO	Relación DQO/DBO₅
	mg/l	mg/l	
4/1/2016	113	266	2.35
11/1/2016	113	395	3.50
13/1/2016	160	473	2.96
18/1/2016	120	382	3.18
20/1/2016	125	439	3.51
25/1/2016	130	450	3.46
27/1/2016	146	501	3.43
1/2/2016	105	466	4.44
3/2/2016	158	563	3.56
10/2/2016	102	291	2.85
15/2/2016	199	531	2.67
17/2/2016	238	763	3.21
24/2/2016	273	895	3.28
14/3/2016	59	170	2.88
16/3/2016	109	289	2.65
21/3/2016	44	177	4.02
23/3/2016	155	358	2.31
28/3/2016	148	701	4.74

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

3.3.4 Análisis de series estandarizadas

Se realizó el análisis de las series estandarizadas mediante el software de Excel. Se procedió con el cálculo de las variables de una manera cronológica y secuencial de tal forma que se pueda observar el comportamiento o la fluctuación de los parámetros de contaminación de la PTAR de Ucubamba en el tiempo, con el fin de comprobar si las mediciones corresponden a un patrón generando algún tipo de tendencia creciente o decreciente con respecto a cambios climáticos o momentos específicos en la historia de los datos.

Los datos de metales proporcionados por ETAPA EP fueron observados y analizados, presentando datos repetidos, incongruentes y poco fiables. se llegó la conclusión de que los metales no se pueden considerar en este estudio porque no tienen comportamientos estables durante las mediciones de los años 2016 hasta junio del 2020. Los metales que presentaron mayores errores en sus datos son los siguientes: Arsénico, Cromo, Cadmio, Cobalto, Estaño, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Aluminio, Bario, Cobre, Hierro, Manganeso, Cinc. La **figura 5** muestra de una manera más clara el comportamiento del arsénico.

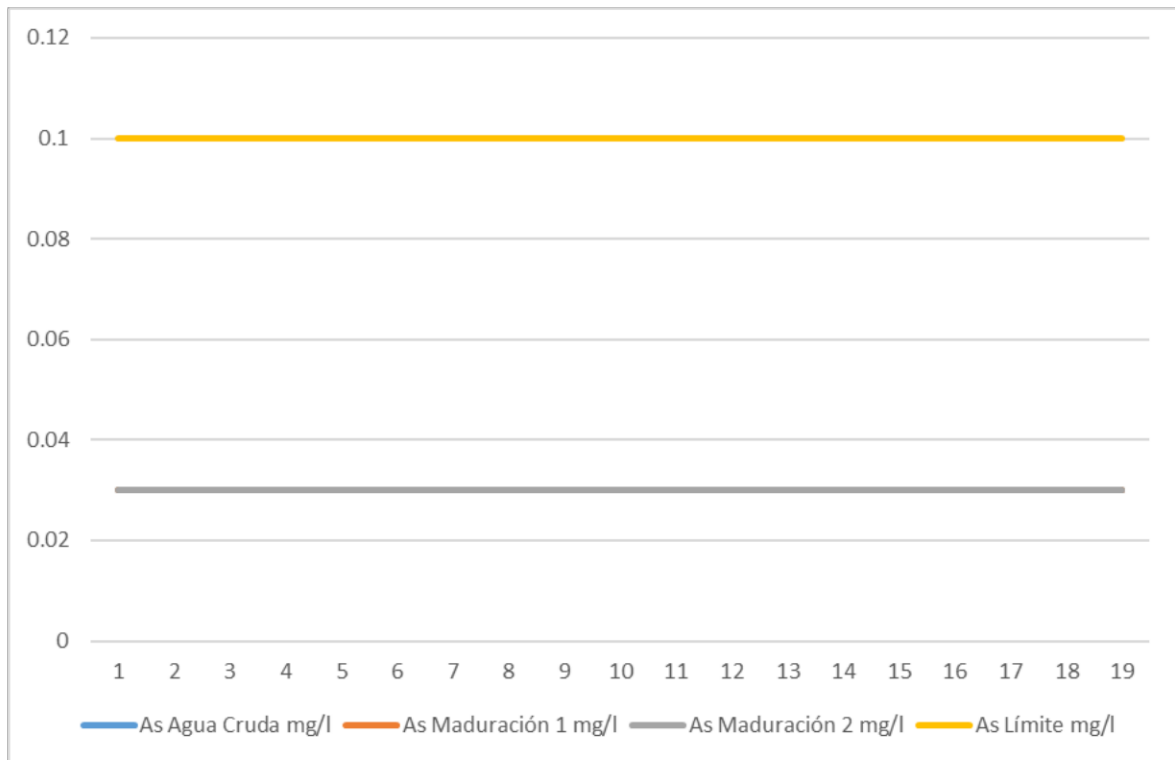


Figura 5: Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 - Arsénico

Fuente: ETAPA EP

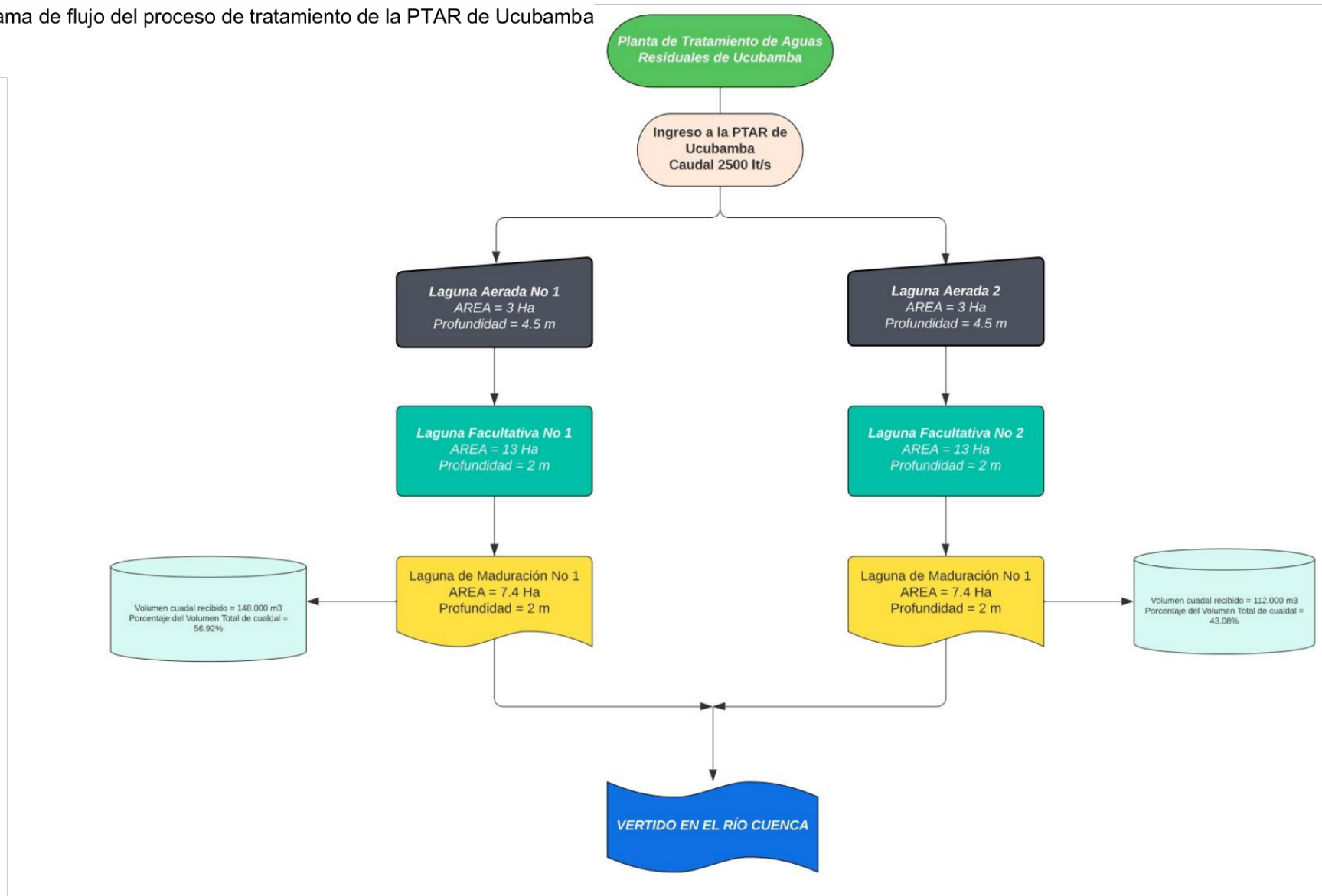
Elaboración: Propia

La figura muestra el comportamiento del arsénico de una manera más clara. Las mediciones de los metales proporcionadas por ETAPA EP, presentan el mismo comportamiento, por lo que es imposible analizarlos.

3.3.5 Cálculo de la carga contaminante

Según Samboni et al. (2007) los parámetros más relevantes para el cálculo de la carga contaminante son: DBO₅, DQO, Nitrógeno Total Kjeldahl, Fósforo Total y Sólidos Totales. La PTAR de Ucubamba tiene en funcionamiento dos lagunas de maduración ubicadas en paralelo que reciben caudales diferentes. La laguna de “maduración 1” recibe un volumen de 148 miles de metros cúbicos que representan el 56.92% del volumen total recibido, mientras que la laguna de “maduración 2” recibe un volumen de 112 miles de metros cúbicos correspondiente al 43.08% de su volumen total. Por ejemplo, si el caudal de ingreso a la planta es de 1.80 m³/seg, la laguna 1 recibe 1.03 m³/seg y la laguna 2 recibe 0.77 m³/seg. Para obtener la carga contaminante total del efluente, se realizó la suma entre la carga contaminante de la laguna de “maduración 1” y la carga contaminante de la laguna de “maduración 2”. A continuación, en la **figura 6** se presenta un diagrama de flujo explicado de una más gráfica el proceso de tratamiento de la PTAR de Ucubamba y sus dimensiones.

Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la PTAR de Ucubamba



La carga contaminante se expresa en kilogramos por día (Kg/d) y se calcula mediante la multiplicación del parámetro de concentración (mg/L) por el caudal (m³/seg); para obtener el resultado en (Kg/d) se debe realizar el procedimiento explicado en las **ecuaciones 3, 4, 5 y 6**. Para este cálculo se consideró únicamente las muestras tomadas de los parámetros de concentración que coincidan con la fecha de la toma de muestra del caudal de entrada a la PTAR de Ucubamba. Posteriormente, se realizó un análisis de estadística descriptiva con los resultados que presentaron los datos: Máximo, Media, Mínimo, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación.

Para el cálculo del porcentaje de eficiencia de la remoción de cada laguna de maduración, primero se realizó el cálculo de la carga contaminante que llega a cada laguna de maduración, es decir, se multiplica la concentración de entrada del contaminante (afluente) por el caudal estimado que entra a cada laguna de maduración. Después, se realizó el cálculo del porcentaje de eficiencia mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{Remoción: } \frac{CC_A - CC_E}{CC_A} \quad (7)$$

CC_A: Carga Contaminante del Afluente

CC_E: Carga Contaminante del Efluente

Una vez realizadas todas las operaciones necesarias, mediante el software de Excel, se graficaron los resultados y se procedió a comparar la eficiencia de remoción de la contaminación la cuál fue expresada en porcentaje, es decir, cuanto de la carga contaminante es removida por la PTAR de Ucubamba desde su entrada hasta ser vertido al río Cuenca.

3.3.6 Cálculo de la probabilidad de cumplimiento

Luego del análisis de las series estandarizadas mediante consultas realizadas a los operadores de la PTAR de Ucubamba se evidencia que los datos atípicos no corresponden a errores de medición, sino que corresponden a eventos extraordinarios que se registran a la entrada y salida de la PTAR, por tanto, eliminar los datos atípicos no es la solución para el análisis cuando se busca encontrar la probabilidad de cumplimiento de la normativa, debido a que los datos atípicos pueden llegar a una alteración de los resultados, provocando un sesgo en el análisis. Con la base de datos proporcionada por ETAPA EP se procedió con el cálculo de la probabilidad de cumplimiento de los parámetros de contaminación mediante el software especializado *Risk Simulator*, de únicamente los parámetros que llegaron a sobrepasar los límites permisibles establecidos en la norma, tales como: DBO₅, DQO, Relación DQO/DBO₅, Fósforo Total, Nitrógeno Total Kjeldahl, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales, Sulfuros, Aceites y Grasas y Coliformes Totales. Tal como se comentó en el análisis de las series estandarizadas los metales no serán tomados en cuenta para el cálculo de la probabilidad de cumplimiento.

3.3.6.1. Cálculo y análisis mediante *Risk Simulator*

Risk Simulator es un programa informático que se añade como una extensión en el programa informático de Excel para el cálculo de probabilidades de ocurrencia y la simulación de eventos futuros mediante el “método de Montecarlo” para el análisis de impactos de diferentes variables en los resultados con 1000 escenarios posibles. A continuación, se presenta paso a paso el procedimiento para el cálculo de la probabilidad de cumplimiento de los parámetros de contaminación mediante este software:

1. Se selecciona el documento de Excel en donde se encuentra la base de datos creada previamente, una vez abierto, en la cinta de opciones existe una opción llamada “Simulador de riesgo”.

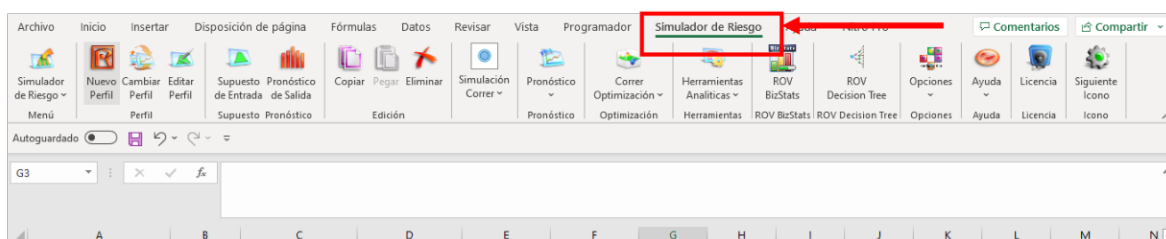


Figura 7: Paso 1 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

2. En el grupo de comandos llamado “Perfil”, se aplasta en el botón de “Nuevo Perfil” y se crea uno con las propiedades de la simulación. Este perfil se utilizará en todo momento para la obtención de la probabilidad de ocurrencia de cada parámetro de contaminación.

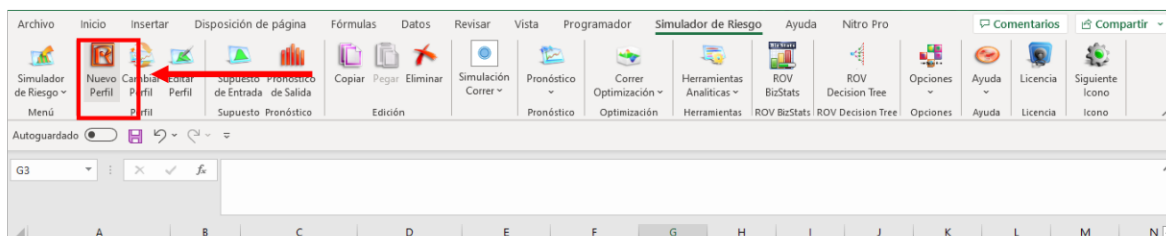


Figura 8: Paso 2 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

3. Saldrá una pestaña en donde se debe colocar las propiedades de la simulación. En el “Nombre del Perfil” se coloca el título de lo que se va a realizar. Más abajo, en configuraciones aparecen 4 opciones que piden llenar o marcar. En la opción de “Número de Pruebas” se debe colocar el número de pruebas que se quiere que el software de *Risk Simulator* realice, en este caso se realizaron 1000 pruebas para cada parámetro de contaminación. Se marca la opción de “Activar correlaciones”, esta opción sirve para saber hasta qué puntos dos variables se encuentran relacionadas entre sí. Por último, se marca la opción de “Especificar la secuencia de números aleatorios” y en este ejemplo se coloca 999 con el fin de representar la incertidumbre y variabilidad en los datos de entrada para generar múltiples escenarios posibles, este es un código que se utiliza para repetir una simulación exactamente igual en el futuro, utilizando una secuencia de

números aleatorios específica. Esto permite obtener los mismos resultados cada ocasión que se ejecute una simulación.

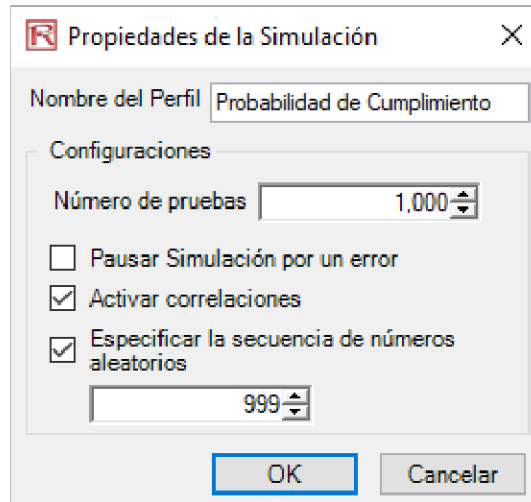


Figura 9: Paso 3 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

- Una vez creado el perfil de simulación, se señala toda la columna en donde se encuentran todos los datos que se requieren para realizar la simulación, en este ejemplo se utilizó la columna de la Laguna de Maduración 1 del parámetro de DQO. Después de señalar la columna, en el grupo de comando llamado “Herramientas”, se selecciona el comando de “Herramientas Analíticas”. En este comando, se da clic en el número 24 “Análisis de Estadísticas”.

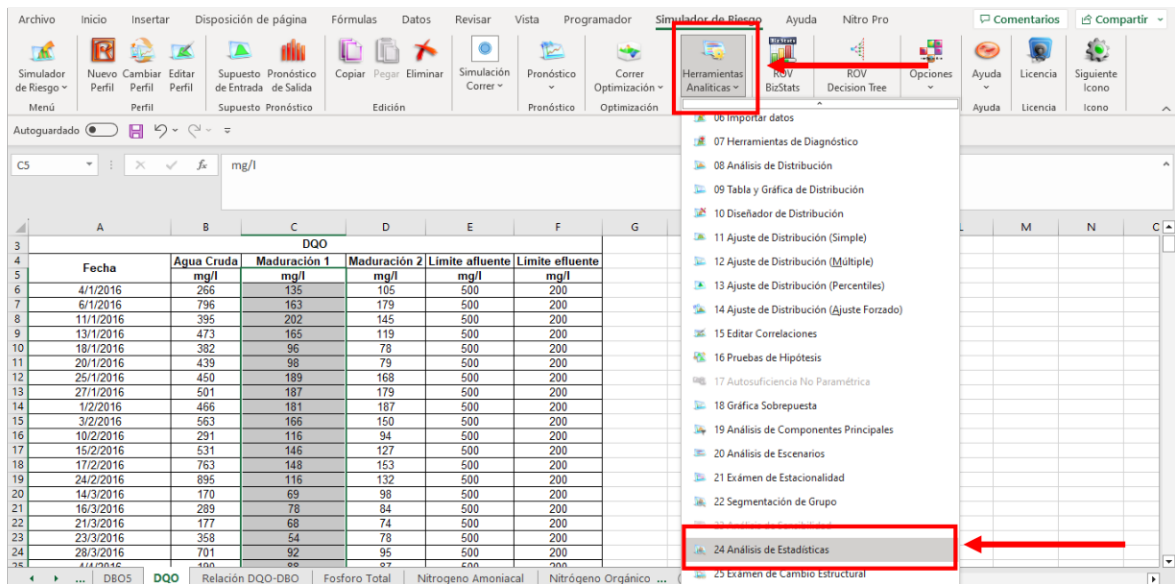


Figura 10: Paso 4 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

- Aparece una ventana de los datos seleccionados, se coloca el título de los datos y se presiona “OK”

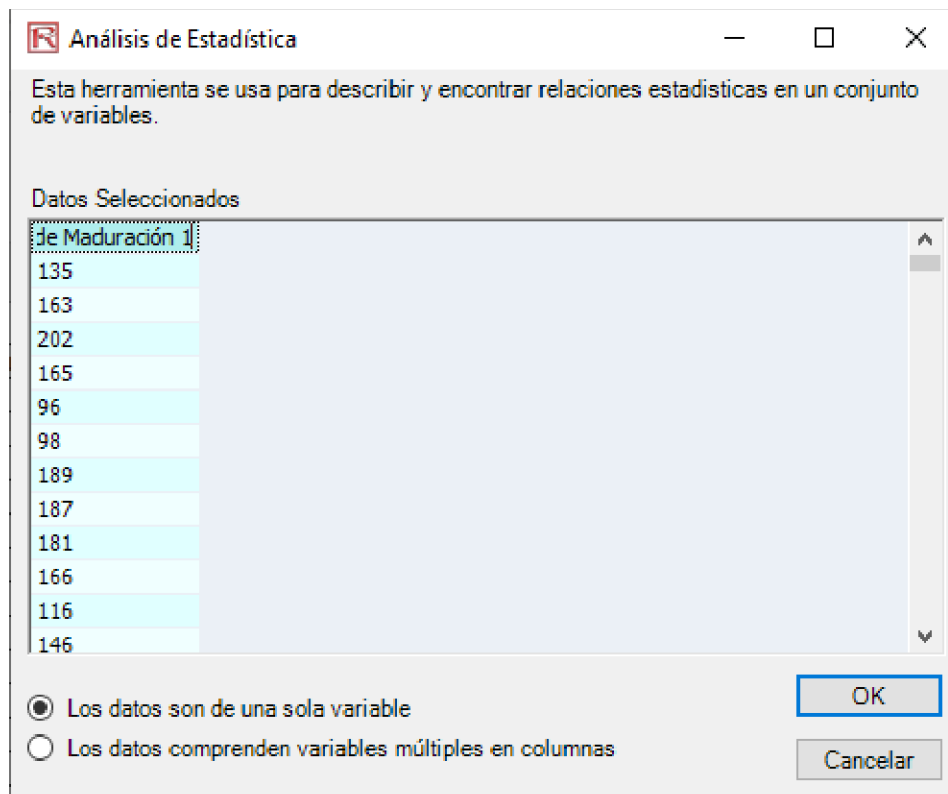


Figura 11: Paso 5 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

6. Después, aparece una ventana en donde existen varias opciones preseleccionadas del análisis para correr. Únicamente se marcan las tres primeras opciones y desmarcar el resto y nuevamente se presiona “OK”. Este análisis de estadísticas es una herramienta para describir y encontrar relaciones con el tipo de distribución que poseen los datos seleccionados para correr el modelo de Montecarlo

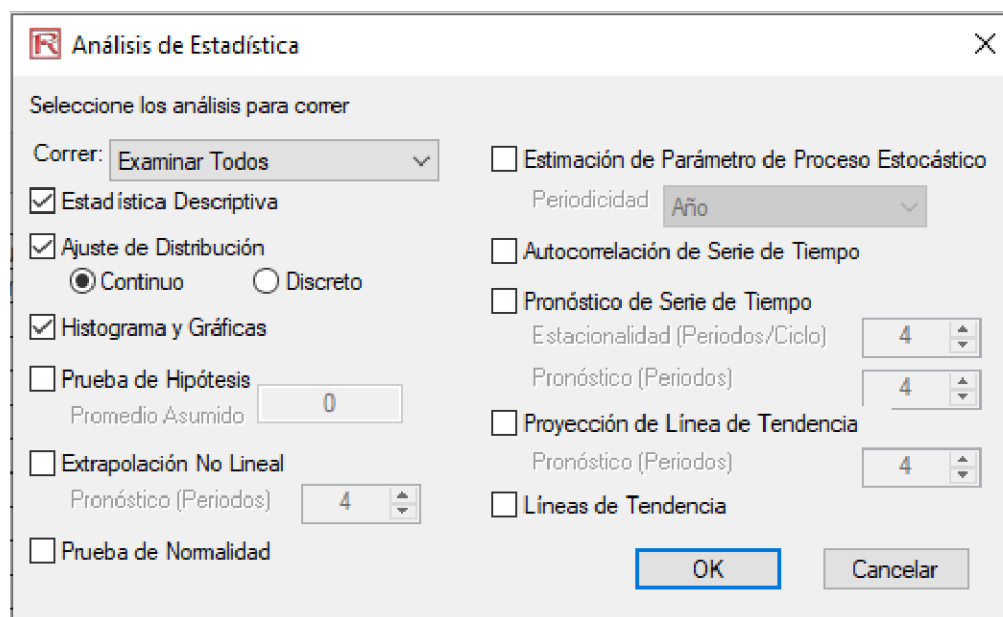


Figura 12: Paso 6 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

- En la hoja de Excel "Ajuste de Distribución", aparece un resumen estadístico de los datos seleccionados previamente. Los datos señalados en el recuadro rojo serán utilizados para ser utilizados en las propiedades de la simulación.

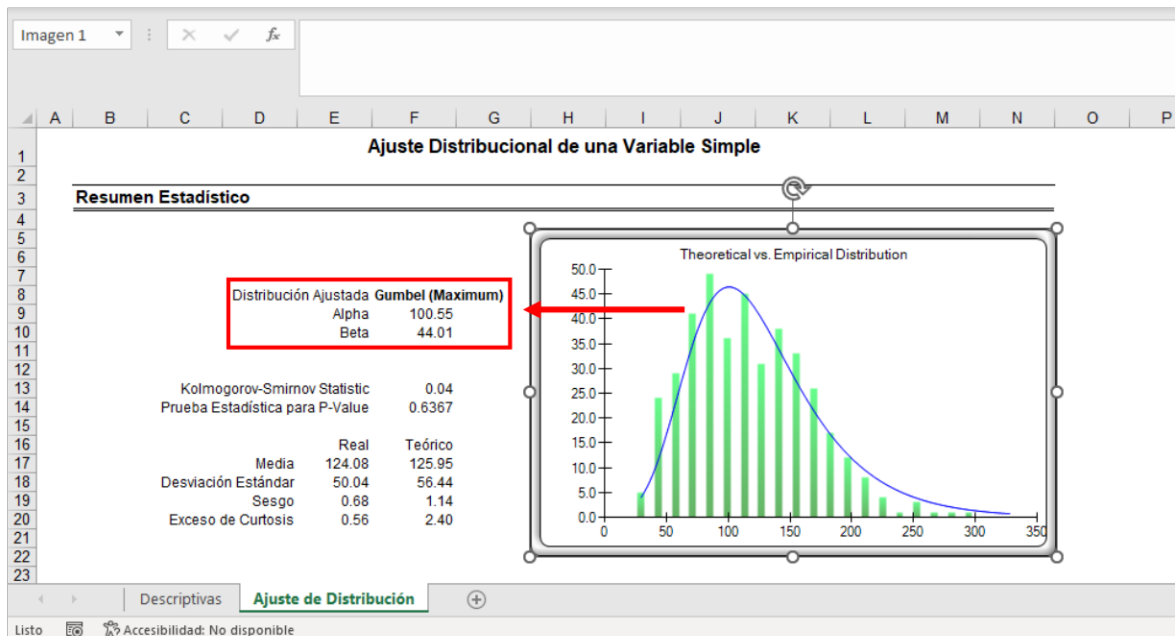


Figura 13: Paso 7 - Análisis Risk Simulator

Elaboración: Propia

- Para iniciar con la simulación de la probabilidad de cumplimiento de la normativa ambiental, nuevamente se selecciona la columna de datos que se quiere simular, en este caso de ejemplo, se seleccionó la columna de la "Laguna de Maduración 1" del parámetro de la DQO. Una vez seleccionados los datos, se da clic en el comando "Supuesto de Entrada" ubicado en el grupo de comando llamado "Supuesto Pronóstico". Aparecerá un recuadro llamado "Propiedades de la Simulación".

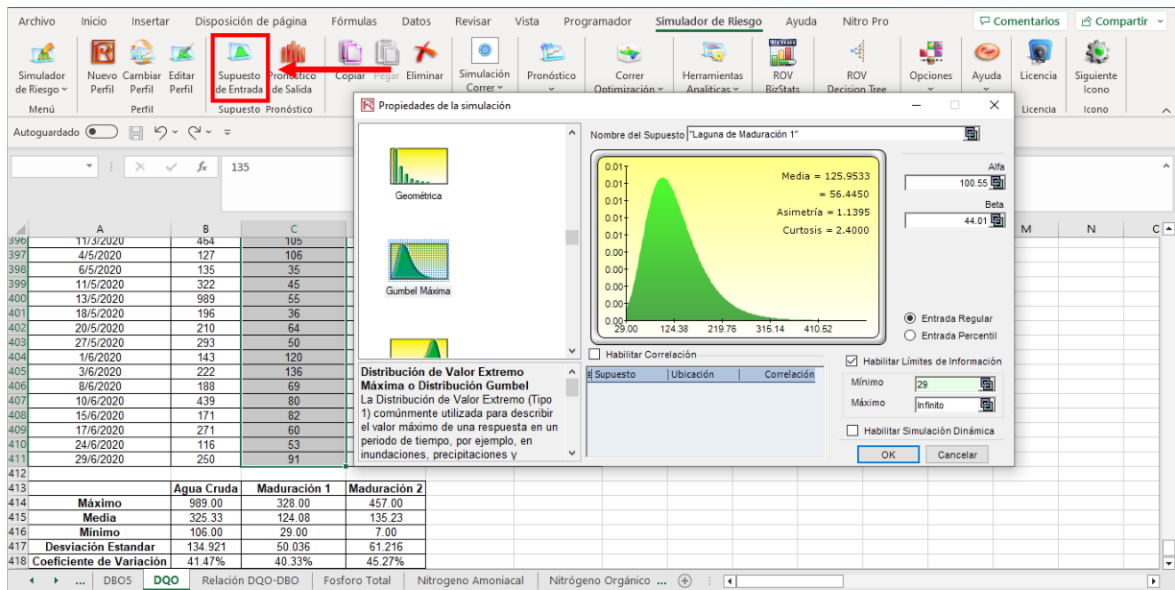


Figura 14: Paso 8 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

- En el recuadro llamado "Propiedades de la Simulación", en el lado izquierdo aparecen diferentes tipos de distribución. Se selecciona el tipo de distribución que se obtuvo previamente del resumen estadístico. Después de seleccionar el tipo de distribución, se procede a llenar los campos requeridos. En el campo "Nombre del Supuesto" se llena con el nombre del supuesto de entrada, en este caso "Laguna de Maduración 1". En los campos de "Alpha" y "Beta" se colocan los valores que se obtuvieron anteriormente en el resumen estadístico. Se mantiene la selección de "Entrada Regular". Se selecciona la opción de "Habilitar Límites de Información", esto sirve para poder marcar los límites de la simulación, que, en este caso, el valor mínimo de la "Laguna de Maduración 1" de la DQO es de 29 mg/L. El valor máximo se mantiene en infinito para dejar que el software simule todos los escenarios posibles.

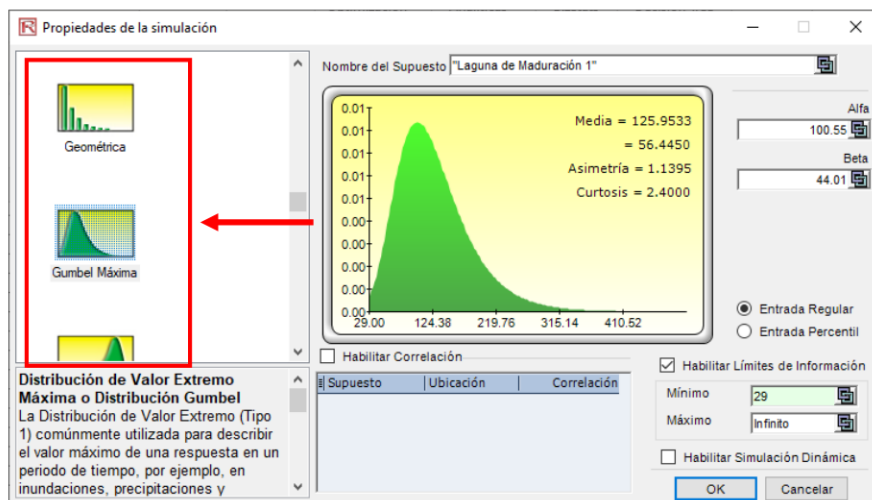


Figura 15: Paso 9 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

10. El software marcará automáticamente de color verde la primera celda de los datos seleccionados para indicar que el supuesto de entrada está listo para iniciar la corrida. Para realizar el pronóstico de salida, primero se debe duplicar el primer valor de los datos seleccionados en una celda nueva, esto se debe realizar para que el software genere los diferentes pronósticos de salida sin afectar a la base de datos original. Posteriormente, con la celda duplicada señalada, se debe dar clic en el comando “Pronóstico de Salida” ubicado en el grupo de comando llamado “Supuesto Pronóstico”. Aparecerá un recuadro llamado “Propiedades de Pronóstico”

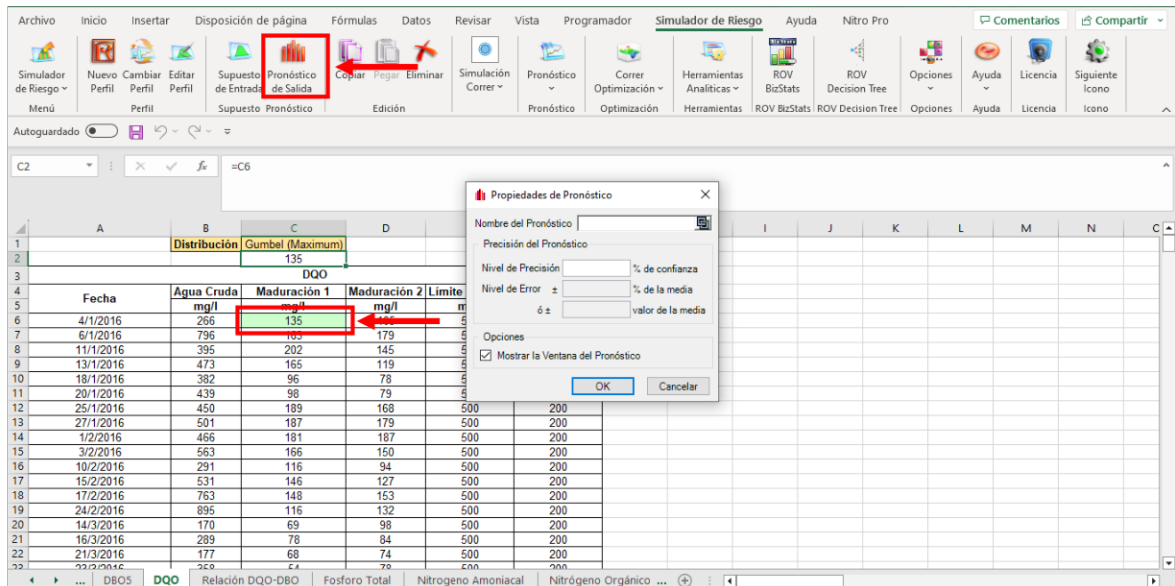


Figura 16: Paso 10 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

11. Se generó un recuadro llamado “Propiedades de Pronóstico”. En el “Nombre de Pronóstico” se debe colocar el nombre que se quiere que aparezca como título del pronóstico, en este ejemplo “Laguna de Maduración 1 – DQO”. En el campo de “Nivel de Precisión” se coloca el porcentaje de confianza del 95% para todo evento estadístico con un nivel de error de más – menos 5%.

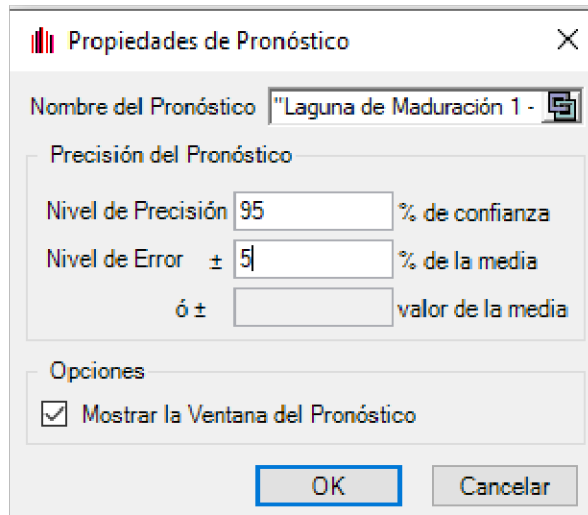


Figura 17: Paso 11 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

12. El software marcará automáticamente de color amarillo la celda duplicada para indicar que el pronóstico de salida está listo para iniciar la corrida.

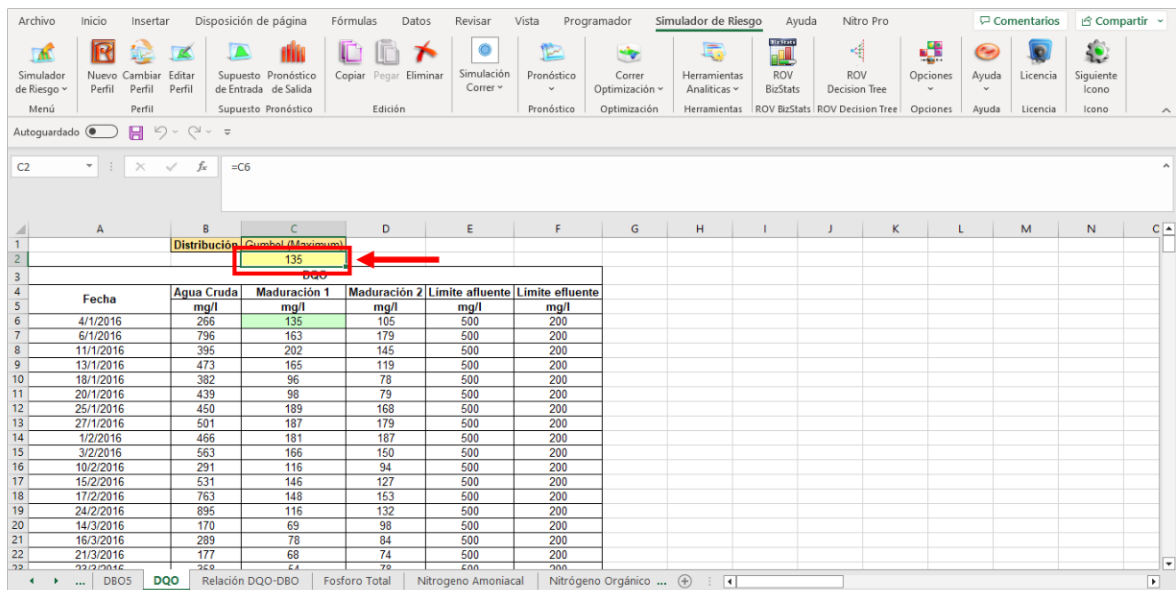


Figura 18: Paso 12 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

13. Marcando la celda del pronóstico de salida, se procede al inicio de la simulación de Montecarlo. En el comando "Simulación Correr" se generan cuatro comandos, para iniciar la simulación se debe presionar "Correr".

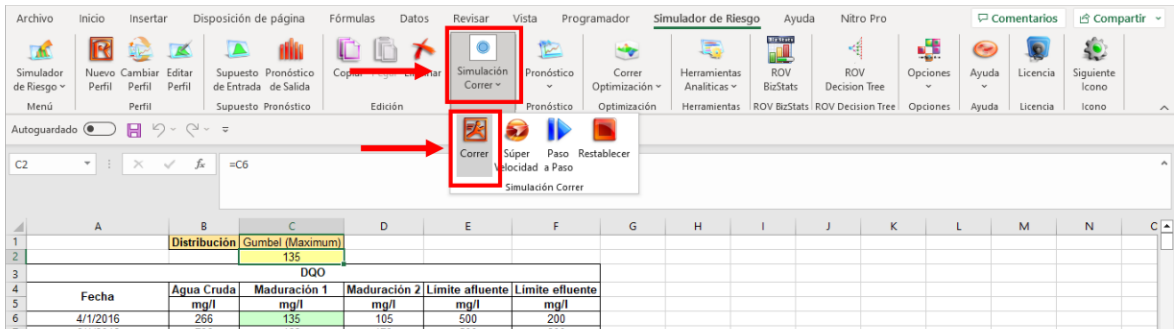


Figura 19: Paso 13 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

- Automáticamente el software comenzará con la simulación de los 1000 escenarios posibles para la simulación de Montecarlo, generando valores que tengan relación con los valores iniciales, con imagen en tiempo real del pronóstico.

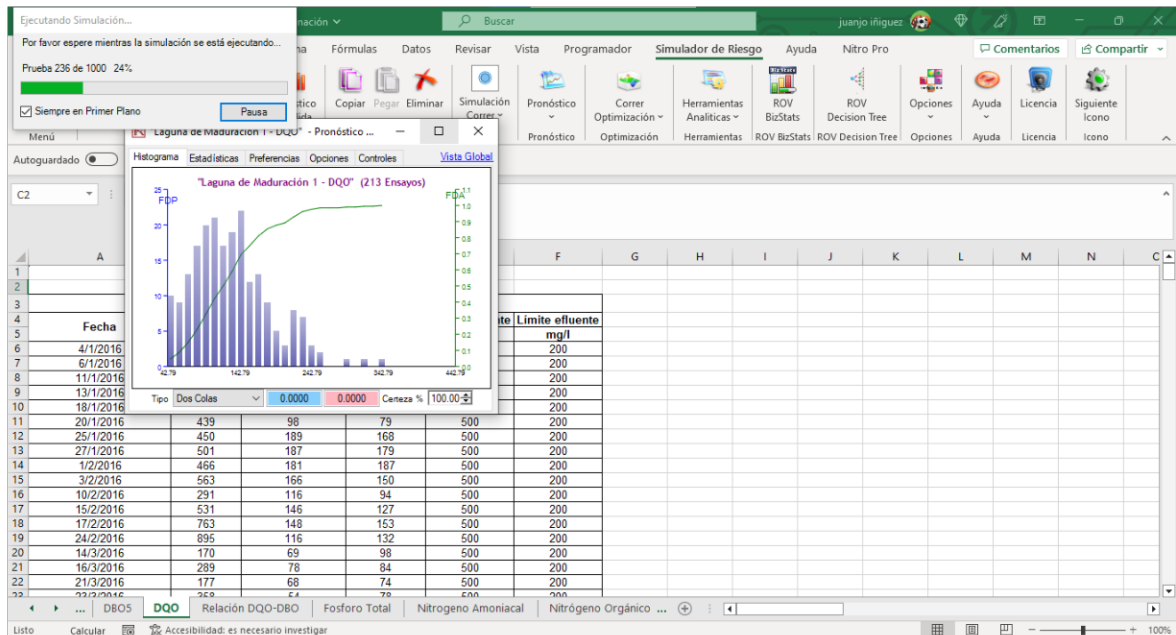


Figura 20: Paso 14 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

- Una vez acaba de correr la simulación, el software genera un histograma de frecuencias con los 1000 escenarios posibles de la base de datos seleccionada. Para saber la probabilidad de cumplimiento de los datos en el tratamiento de la PTAR de Ucubamba. En el apartado "Tipo" se selecciona "Cola Izquierda" para saber únicamente el porcentaje de certeza de los datos con relación a los datos máximos. Se coloca el valor límite de cumplimiento de la normativa ambiental para cada parámetro de contaminación que se requiera, en este caso de ejemplo, el valor máximo permisible del efluente de la DQO es de 200 mg/L. El software *Risk Simulator* calcula automáticamente el porcentaje de cumplimiento de la norma como, por ejemplo, la laguna de maduración 1 de la PTAR de Ucubamba cumple con los límites máximos permisibles de concentración de DQO con

el 89.50%, es decir, que el 10.50% de las ocasiones la PTAR está incumpliendo con la norma.

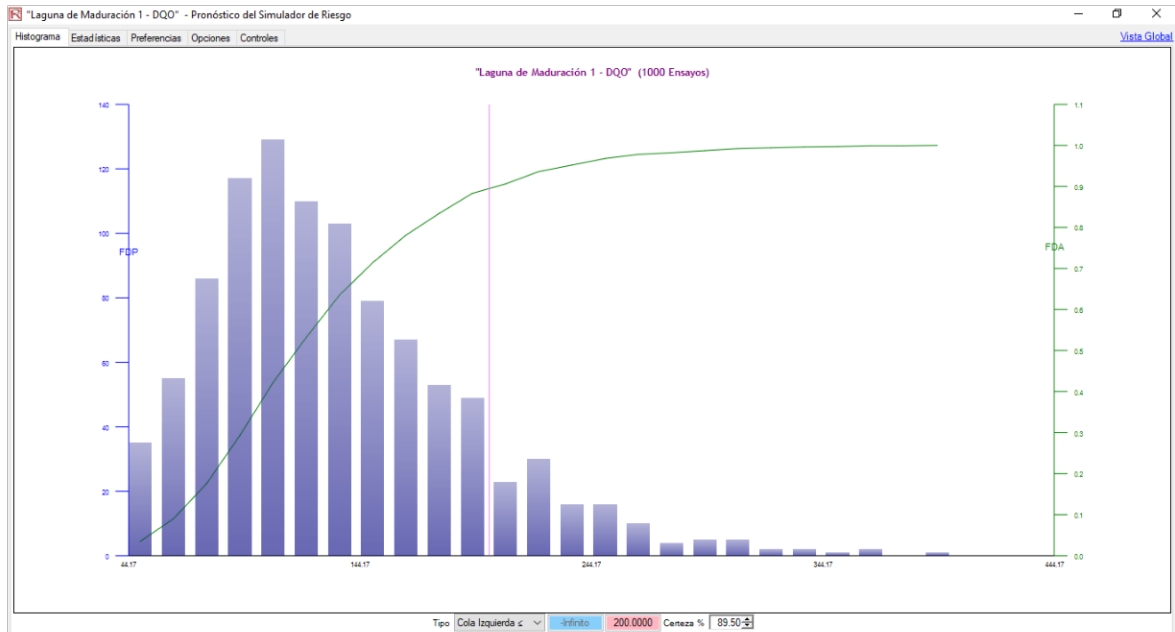


Figura 21: Paso 15 - Análisis Risk Simulator
Elaboración: Propia

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo 4, se presentan los resultados y la discusión en donde se describen los parámetros de contaminación y caudal que llegan a la PTAR de Ucubamba mediante el análisis histórico de series estandarizadas, carga contaminante y la probabilidad de cumplimiento de la normativa ambiental con 1000 escenarios posibles desde el año 2016 hasta junio del 2020, mediante el software especializado *Risk Simulator* con un rango de certeza del 95%, permitiendo conocer de una mejor manera el funcionamiento de la PTAR de Ucubamba, ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador.

4.1 Caudal

Como se puede apreciar en la **figura 22**, los datos estandarizados de caudal van desde enero de 2016 hasta junio 2020. La **tabla 13** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico del caudal.



Figura 22: Serie de datos histórica Caudal 2016 – junio 2020

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 13: Estadística Descriptiva - Caudal

Máximo	2.13 m ³ /seg
Media	1.72 m ³ /seg
Mínimo	0.71 m ³ /seg
Desviación Estándar	0.11
Coefficiente de Variación	6.48%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Con una media de 1.72 m³/seg los datos históricos no muestra una tendencia en el tiempo, por lo que son constantes en el tiempo, con una desviación estándar de 0.11 que muestra que la mayoría de los datos se encuentran poco dispersos con respecto a su media. El coeficiente de determinación R² tiene un valor de 0.0075, demostrando que los datos de caudal utilizados no muestran una predicción de su comportamiento.

Las variables se encuentran ordenados cronológicamente, se evidencia un patrón de comportamiento de estacionalidad en el tiempo marcado por un círculo verde, en donde se muestra que en los meses de agosto, septiembre, octubre e inicios de noviembre del año 2017 existió una época de sequía y en cuanto a los caudales más bajos se encuentran en el mes de mayo y junio del 2018 encontrando su mínimo de 0.71 m³/seg y por último en los meses de diciembre de 2019 y enero del 2020. Los picos más grandes de caudal se encuentran en el mes de marzo y abril del año 2016 y también en los meses abril y mayo del año 2019 en los cuales posiblemente existió una gran cantidad de lluvias.

4.2 Análisis de las Series Estandarizadas

4.2.1 DBO₅

La **figura 23** muestra una serie de datos históricos de DBO₅ conformadas por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 14** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de la DBO₅.

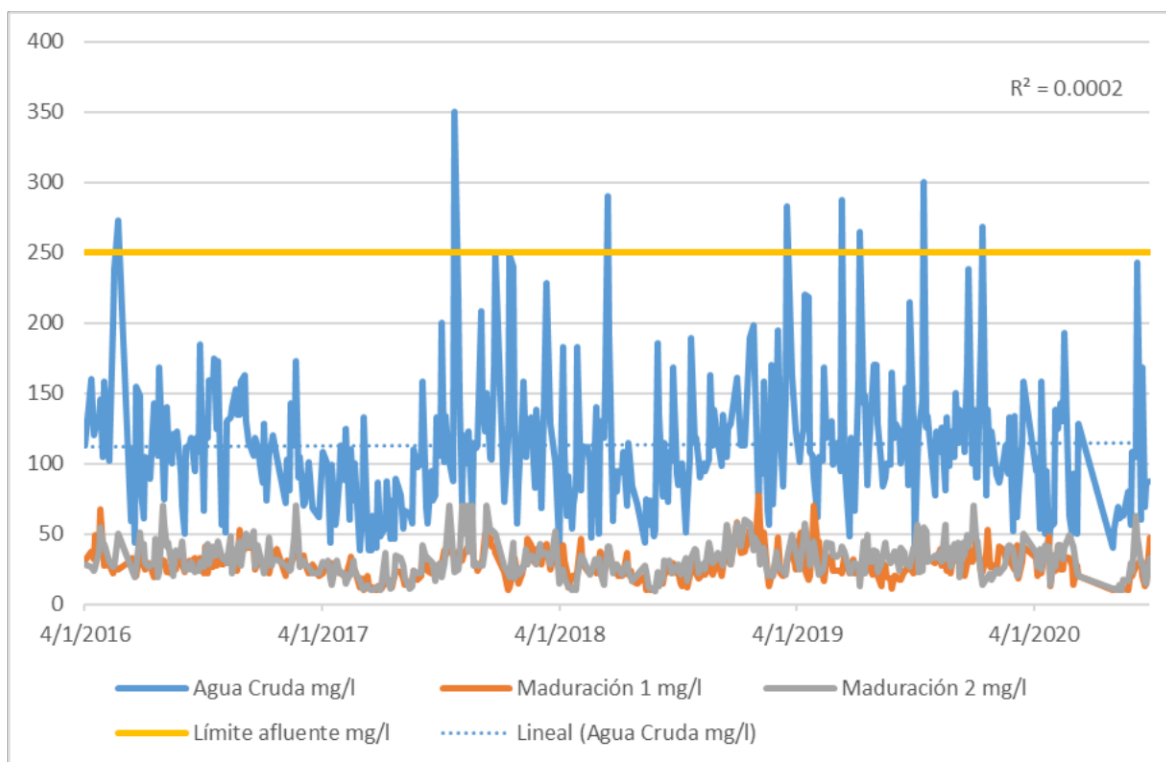


Figura 23: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 - DBO₅

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 14: Estadística Descriptiva - DBO₅

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	350.00	77.00	70.00
Media	113.48	28.19	31.13
Mínimo	38.00	10.00	9.00
Desviación Estándar	48.80	10.43	12.33
Coefficiente de Variación	43.01%	36.99%	39.59%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencia que no existe ninguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico en los datos, con un valor R^2 de 0.0002 demuestra que los datos no generan alguna predicción en su comportamiento. Existen valores de agua cruda que sobrepasan el límite de 250 mg/L de entrada a la PTAR (afluente) marcado por una línea amarilla. Sus medias varían considerablemente del agua cruda con respecto a las lagunas de maduración 1 y 2, presentando una media de 113.48 mg/L en el agua cruda a 28.19 mg/L y 31.13 mg/L respectivamente. El porcentaje en el coeficiente de variación es similar en las 3 etapas y se presenta relativamente bajo del 50%, por lo que los datos se encuentran cercanos de su media. El gráfico muestra una disminución de los valores de contaminación de DBO₅ desde la entrada a la planta hasta su vertido, debido que a la PTAR de Ucubamba posee el tratamiento de lagunas de oxidación que mediante procesos aerobios favorece el crecimiento de microorganismos, estos ayudan de una manera muy efectiva a la descomposición de la materia orgánica, trabajando en conjunto, como bacterias, algas o protozoos.

En la **figura 24** se muestran las series de datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2.

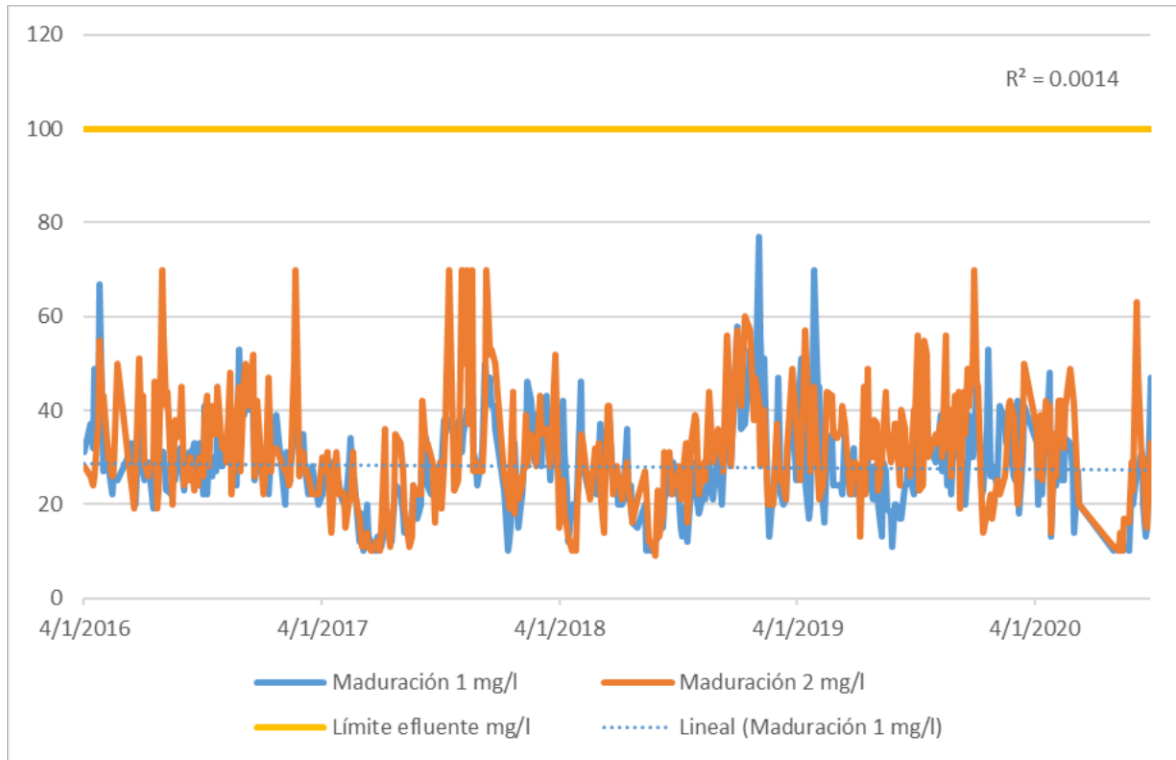


Figura 24: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - DBO₅

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Los datos históricos de la DBO₅ en ninguna de sus dos etapas después de su tratamiento sobrepasan el límite permisible de 100 mg/L marcado por una línea amarilla. Cabe recalcar que la concentración de agua cruda de DBO₅ que llega a la PTAR tampoco sobrepasa el límite permisible. Los datos no presentan una predicción en su comportamiento en ninguna laguna de maduración.

4.2.2 DQO

La **figura 25** muestra una serie de datos históricos conformadas por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2 de la DQO. La **tabla 15** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de la DQO.

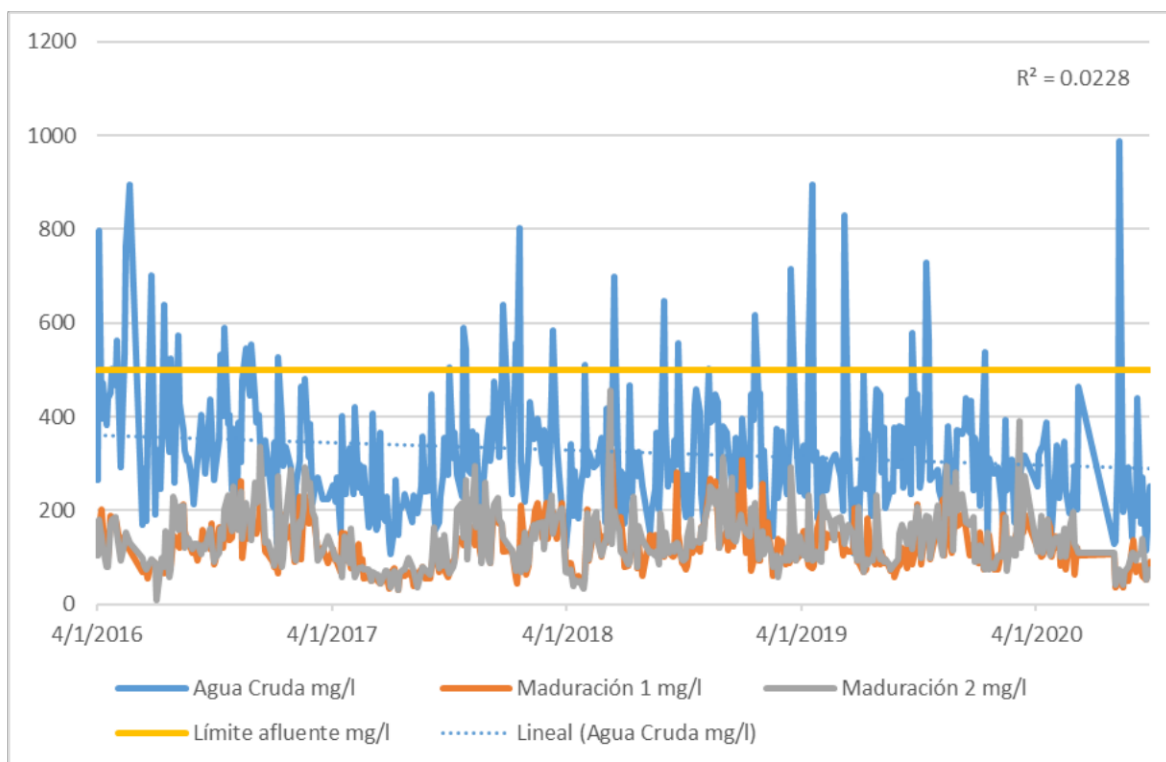


Figura 25: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 – DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 15: Estadística Descriptiva – DQO

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	989	328	457
Media	325.33	124.08	135.23
Mínimo	106	29	7
Desviación Estándar	134.92	50.04	61.22
Coefficiente de Variación	41.47%	40.33%	45.27%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Existen datos de agua cruda que sobrepasan el límite de 500 mg/L en la entrada a la PTAR como lo muestra la línea amarilla, por lo que está ingresando concentración superior al límite establecido en la norma proveniente de la ciudad de Cuenca. Se evidencia que no existe ninguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclicos en los datos, con un valor R^2 de 0.0228. La media del agua cruda es de 325.33 mg/L con un coeficiente de variación de 41.47%, por lo que los datos se encuentran relativamente compactos con respecto a su media.

En la **figura 26** se presentan los datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 de la DQO.

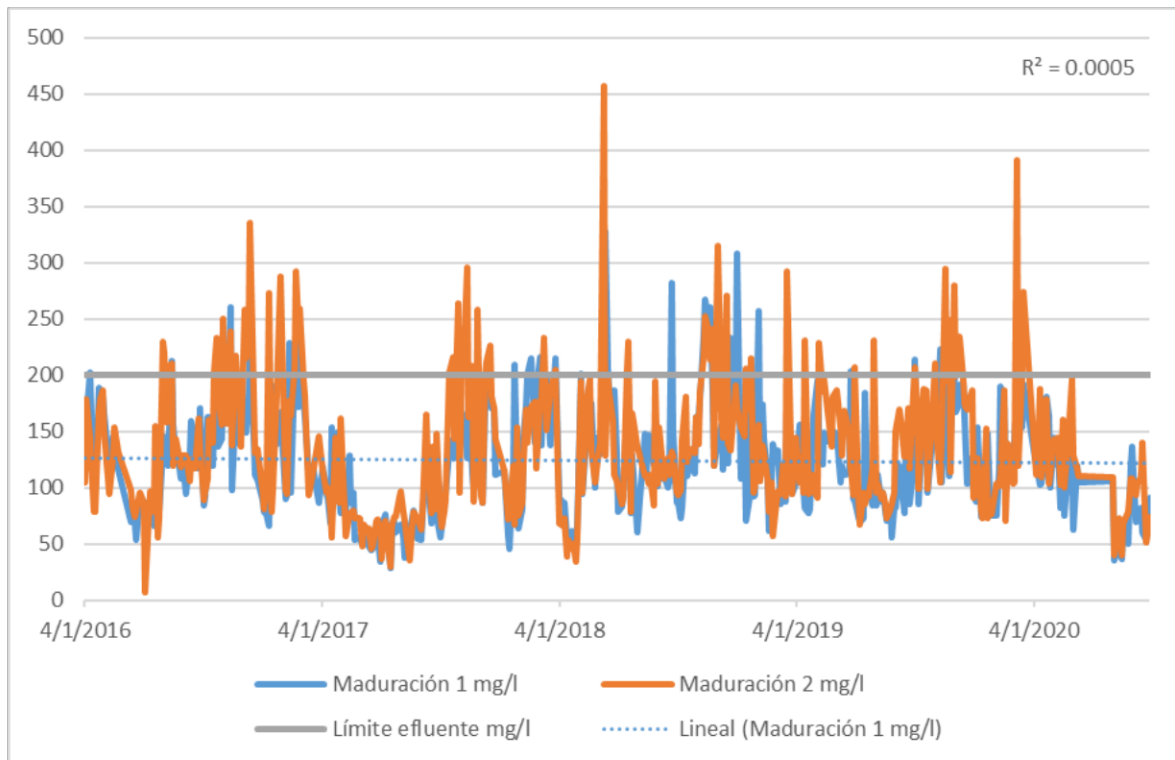


Figura 26: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Como se observa, en las dos etapas después de su tratamiento existen valores que sobrepasan el límite permisible de descarga de 200 mg/L marcado por una línea amarilla, es decir, que el tratamiento recibido por la PTAR de Ucubamba no presenta mejoría en cuanto a la contaminación con respecto a la DQO, un tratamiento poco eficiente. Se observan grandes picos, en donde en la maduración 1 el máximo fue de 328 mg/L, y en la maduración 2 fue de 457 mg/L, sobrepasando notablemente el límite permisible. Se evidencia una disminución de la concentración de la DQO desde su ingreso a la planta hasta su vertido al río Cuenca, pero se observan valores que sobrepasan el límite permisible. Las causas más comunes que pueden afectar a la correcta descomposición de la DQO en tratamientos por lagunas de oxidación son una falta de control en los parámetros que opera la planta como la temperatura, el pH y concentración de los nutrientes que deben ser óptimos para el correcto crecimiento de los microorganismos que se encargan de su descomposición, además, las lagunas necesitan un correcto suministro de oxígeno para mantener la actividad microbiana.

4.2.3 Relación DQO/DBO₅

La **figura 27** muestra la relación entre la DQO y la DBO₅ entre el año 2016 hasta junio del 2020. La **tabla 16** presenta una estadística descriptiva de la relación DQO/DBO₅.

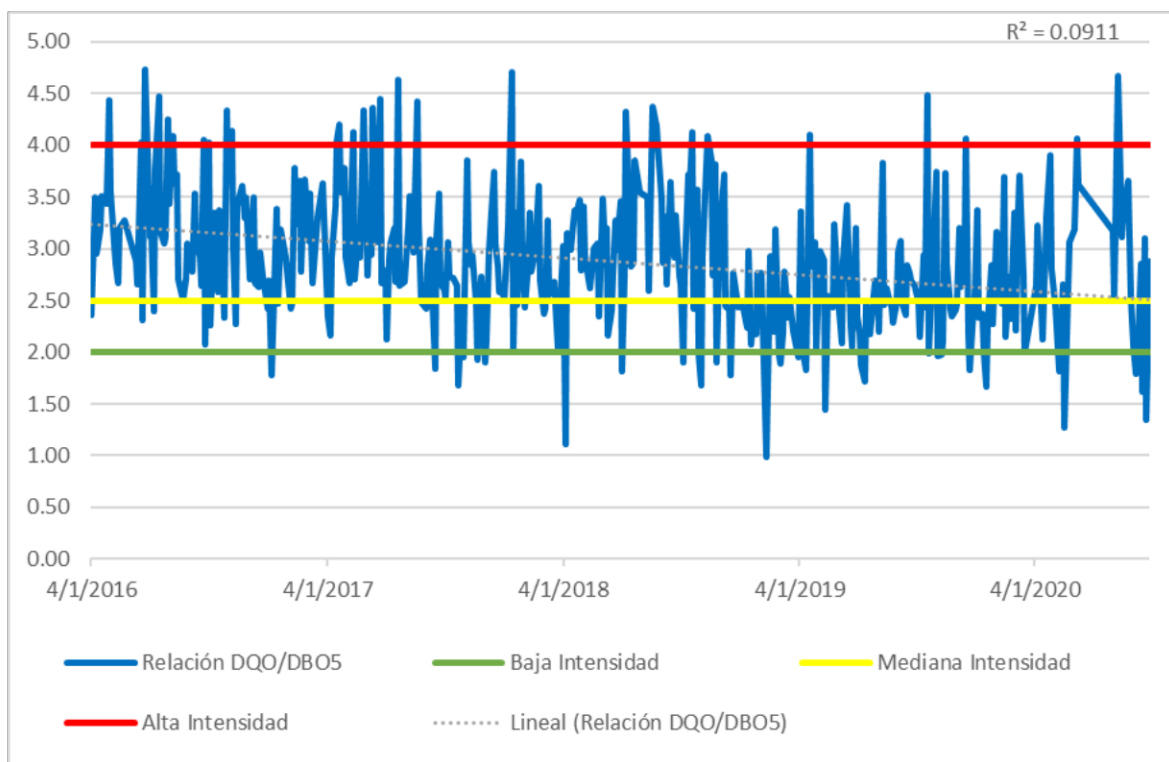


Figura 27: Serie de datos histórica de la relación DQO/DBO5

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 16: Estadística Descriptiva - Relación DQO/DBO5

Máximo	4.74
Media	2.88
Mínimo	0.98
Desviación Estándar	0.67
Coefficiente de Variación	23%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencia que la mayoría de los datos se encuentran sobre el grado de “Alta Intensidad” de las aguas residuales que llegan a la PTAR de Ucubamba. La media tiene un valor de 2.88 el cual es un valor superior al límite de aguas de Baja Intensidad que poseen un valor de 2. Esto indica que el grado de intensidad de la biodegradabilidad de la materia orgánica es sumamente alto, por lo que las aguas residuales que llegan a la planta tienen una relación de origen industrial.

4.2.4 Fósforo total

La **figura 28** muestra una serie de datos históricos del Fósforo Total conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 17** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico del Fósforo Total.

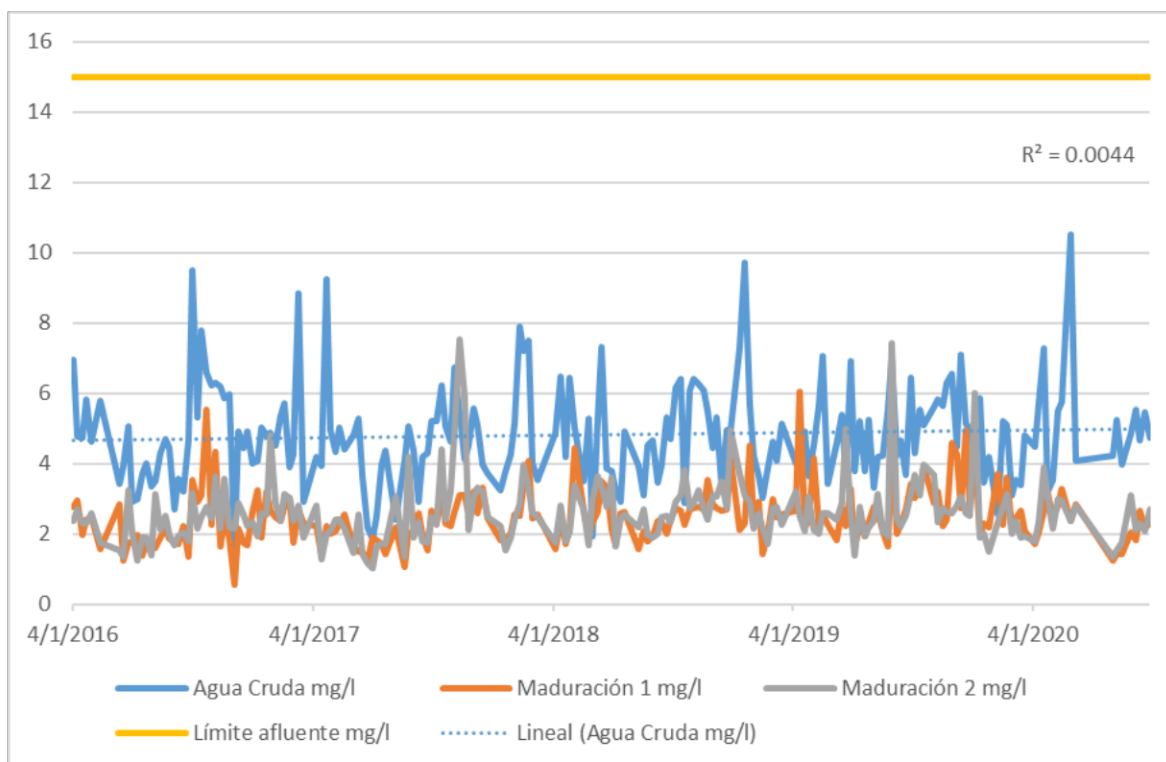


Figura 28: Serie de datos histórica Agua Cruda, Laguna de Maduración 1 y 2 – Fósforo Total
Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

Tabla 17: Estadística Descriptiva - Fósforo Total

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	10.53	6.05	7.54
Media	4.80	2.47	2.60
Mínimo	1.63	0.55	1.03
Desviación Estándar	1.43	0.80	0.93
Coefficiente de Variación	29.76%	32.47%	35.70%

Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

En base a la figura se evidencia que no existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico, con un valor R^2 de 0.0044 significa que los datos no pueden generar predicción en su comportamiento. Los valores de agua cruda no sobrepasan el límite de 15 mg/L de entrada a la PTAR (afluyente) marcado por la línea amarilla. Existe una disminución de las medias después del tratamiento del agua cruda con respecto a las lagunas de maduración 1 y 2. El porcentaje del coeficiente de variación es similar en las 3 etapas con 30% aproximadamente, esto quiere decir que los datos no se encuentran dispersos con respecto a su media. Esta eficiencia se debe a que la tecnología empleada en la PTAR de Ucubamba por lagunas de oxidación está diseñada para la disminución del Fósforo Total, ya que se aplican procesos de decantación, debido a esto la sedimentación de los sólidos contribuye en la disminución del fósforo después de su tratamiento.

En la **figura 29** se presentan los datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 del Fósforo Total.

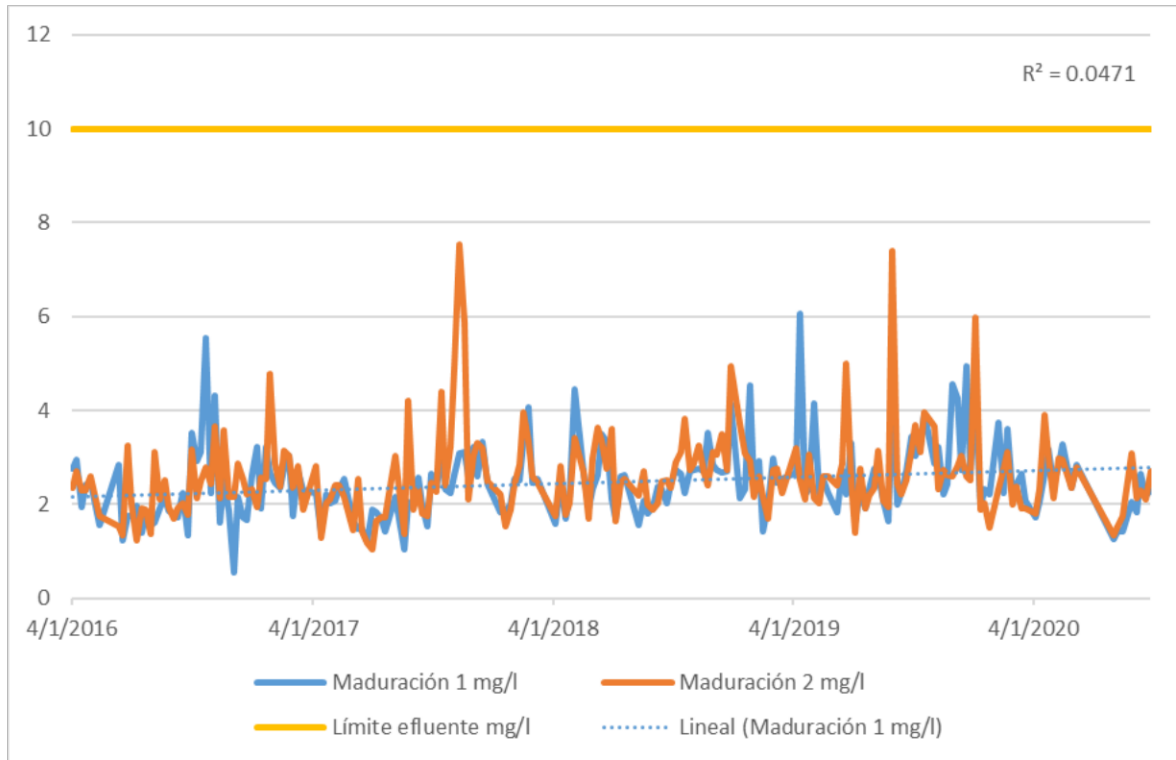


Figura 29: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - Fósforo Total

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Según la figura, en ninguna de sus dos fases de maduración existen valores que sobrepasen el límite permisible de descarga de 10 mg/L marcado por la línea amarilla. La disminución de la concentración del Fósforo Total es efectiva, debido al tratamiento de la PTAR de Ucubamba, pero tomando en consideración que los valores del agua cruda que llega a la planta, es considerablemente bajo con respecto al límite permisible de descarga, entonces se podría decir que la planta estaría recibiendo un afluente bajo en concentración de Fósforo Total.

4.2.5 Nitrógeno Total Kjeldahl

La **figura 30** muestra una serie de datos históricos del Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 18** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico del Nitrógeno Total Kjeldahl.

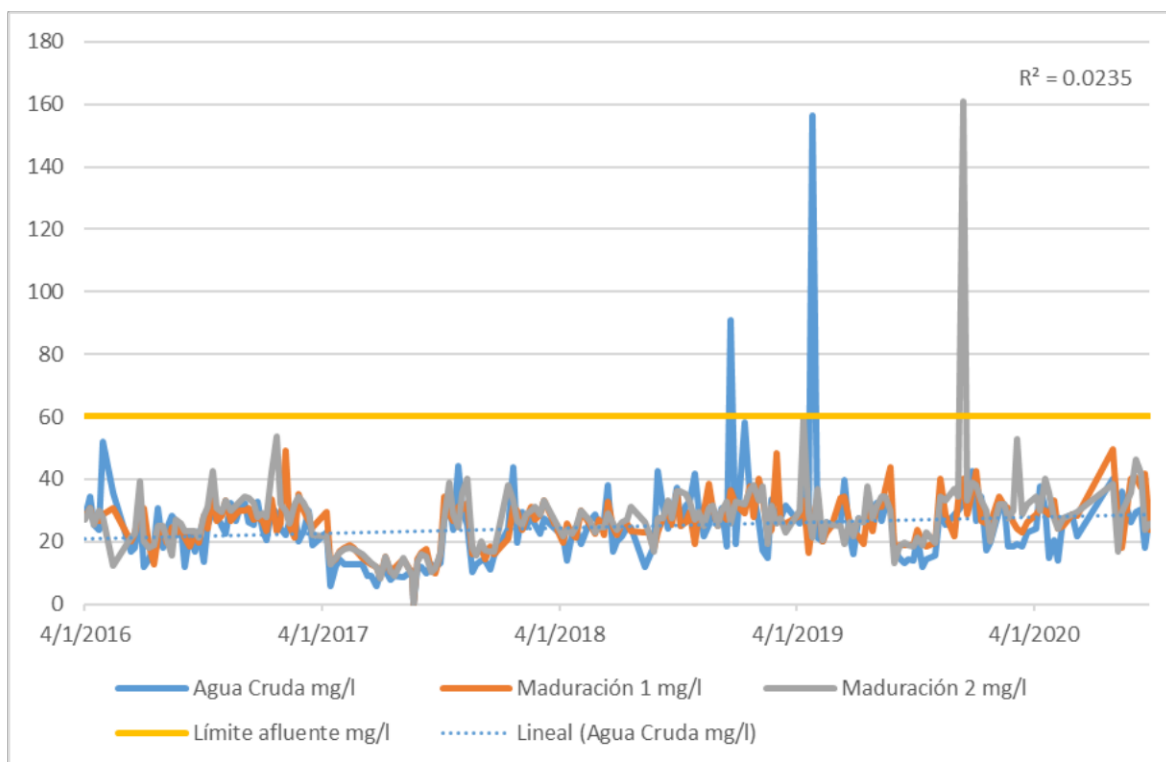


Figura 30: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 18: Estadística Descriptiva - Nitrógeno Total Kjeldahl

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	156.39	49.66	160.87
Media	24.69	25.75	27.49
Mínimo	0.00	0.00	0.00
Desviación Estándar	13.76	7.79	12.70
Coefficiente de Variación	55.72%	30.25%	46.19%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La figura evidencia que no existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico, con un valor R^2 de 0.0235 significa que los datos no pueden generar predicción en su comportamiento. Existen valores de agua cruda que sobrepasan el límite de 60 mg/L de entrada a la PTAR (afluente) marcado por la línea amarilla.

La **figura 31** muestra una serie de datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 del Nitrógeno Total Kjeldahl.

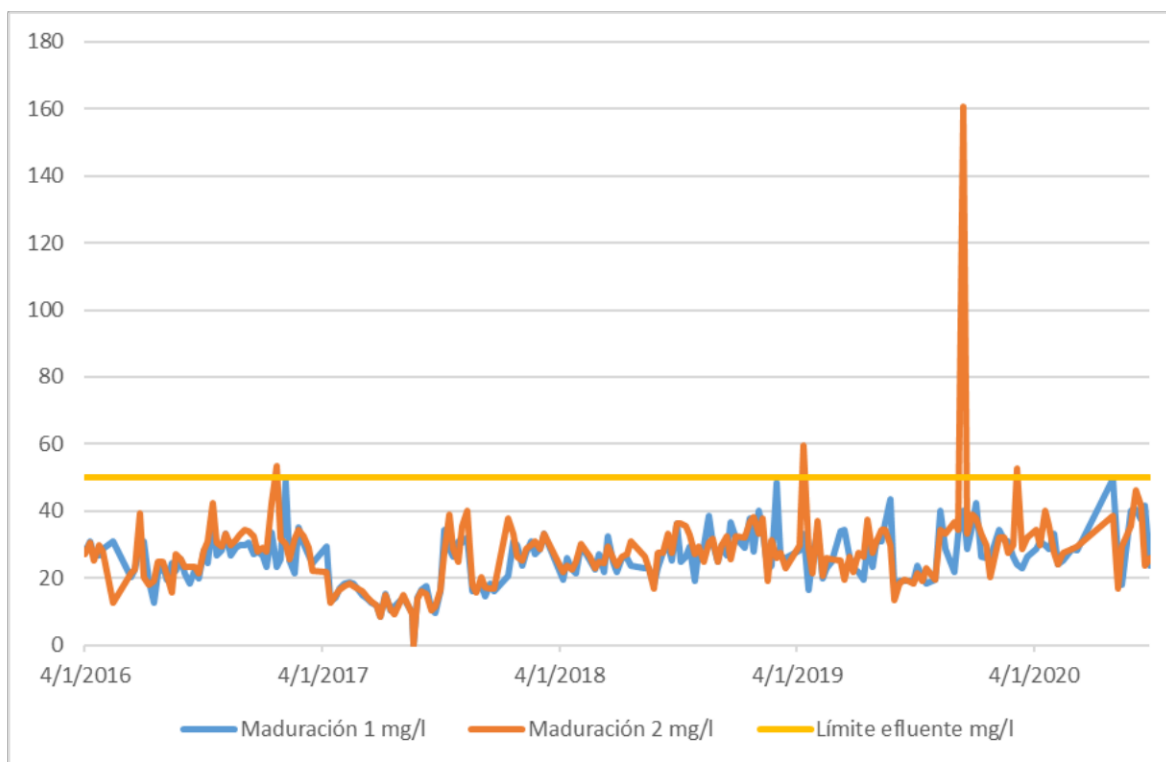


Figura 31: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Según la figura 31, existen valores que sobrepasen el límite permisible de descarga de 50 mg/L marcado por la línea amarilla. No existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico de los datos. El análisis de sus medias muestra que las lagunas de maduración 1 y 2 aumentan con respecto al agua cruda, es decir que, durante el proceso de tratamiento de la PTAR de Ucubamba, el Nitrógeno Total Kjeldahl aumenta. Este aumento puede deberse a varios factores dentro de la PTAR que estén afectado el tratamiento del nitrógeno. Uno de estos factores puede darse por el proceso biológico que emplea la planta, ya que las lagunas de oxidación están diseñadas principalmente para la eliminación de la materia orgánica y la reducción de la DBO. Otro factor puede darse debido a que la PTAR de Ucubamba no posee procesos adicionales para la eliminación del nitrógeno, tales como un reactor biológico o un proceso de nitrificación – desnitrificación, por lo que es muy probable que la concentración de NTK se mantenga o incluso aumente después de su tratamiento.

4.2.6 pH

La **figura 32** muestra una serie de datos históricos del pH conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 19** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico del pH.

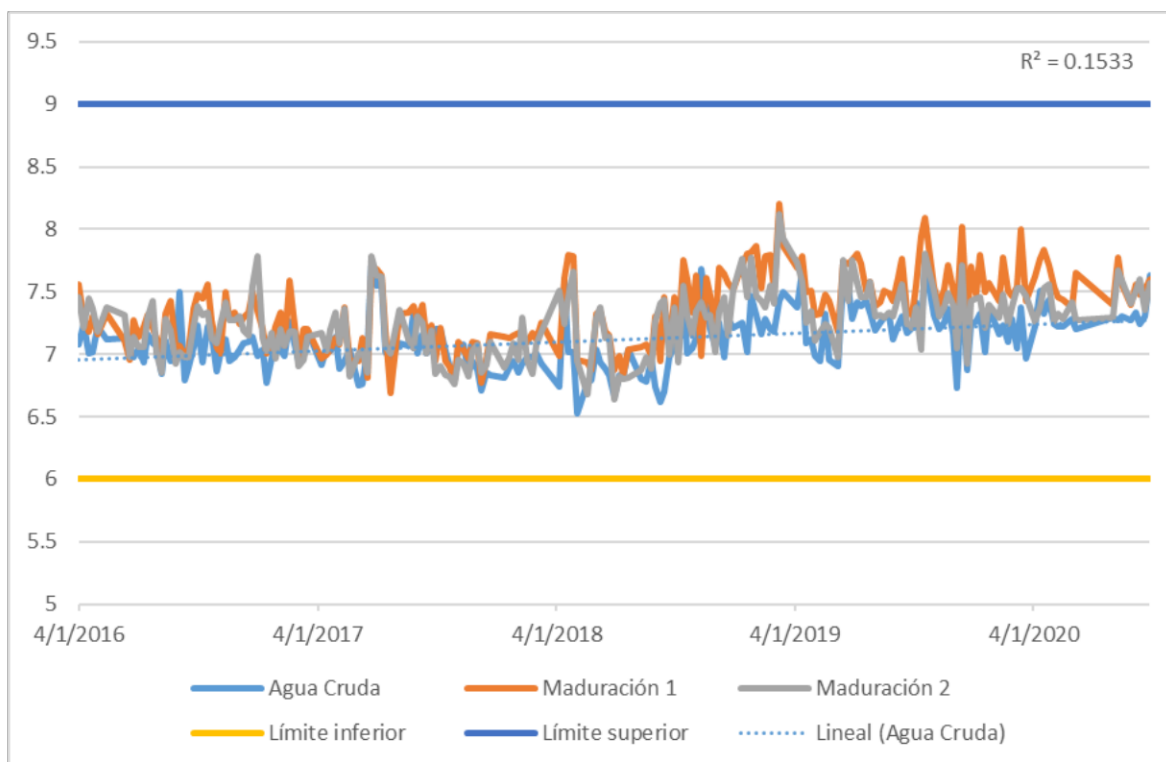


Figura 32: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – pH

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 19: Estadística Descriptiva – pH

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	7.68	8.20	7.93
Media	7.11	7.35	7.25
Mínimo	6.53	6.69	6.64
Desviación Estándar	0.22	0.29	0.25
Coefficiente de Variación	3.09%	3.97%	3.50%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

En base a la figura 32 se evidencia que existe una ligera tendencia creciente con el paso de los años, es decir, que el pH aumenta de una manera leve pero no presentan ninguna estacionalidad o comportamiento cíclico. Además, no sobrepasan los límites que se encuentran entre 6 y 9. Sus medias son similares entre sí, y sus desviaciones estándar son relativamente pequeñas por lo que se puede decir que los datos se encuentran compactos. Se presenta un pH relativamente neutro incluso en sus puntos máximos y mínimos, por lo que se evidencia que el tratamiento recibido por parte de la PTAR de Ucubamba no afecta a los valores del pH.

4.2.7 Sólidos Sedimentables

La **figura 33** muestra una serie de datos históricos de los sólidos sedimentables conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 20** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Sólidos Sedimentables.

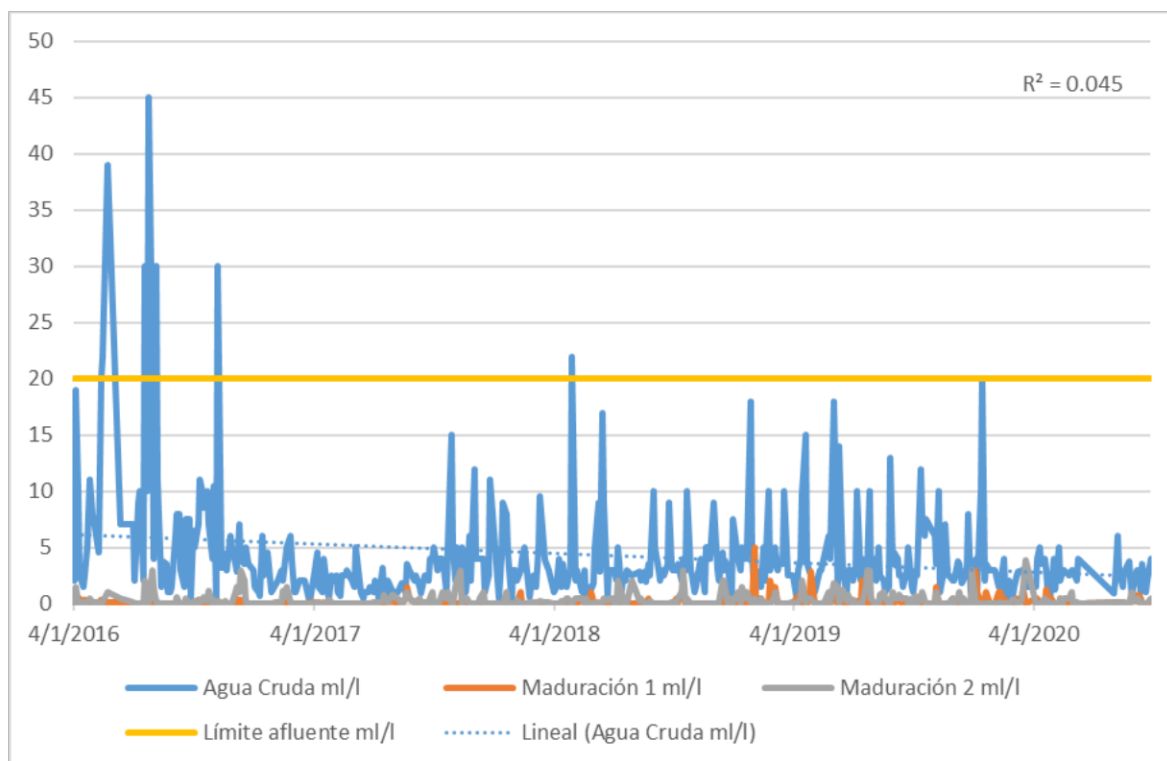


Figura 33: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Sedimentables

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 20: Estadística Descriptiva - Sólidos Sedimentables

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	45.00	5.00	3.90
Media	4.33	0.14	0.31
Mínimo	0.00	0.00	0.00
Desviación Estándar	5.02	0.42	0.59
Coefficiente de Variación	116.03%	297.21%	188.06%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencian valores en el agua cruda de los Sólidos Sedimentables que sobrepasan los límites permisibles del afluente de 20 mg/L, sobre todo en el primer año del 2016, con una media de 4.33 mg/L y con valores mínimos de 0 mg/L. Las lagunas de maduración presentan bajos niveles de concentración de Sólidos Sedimentables con medias de 0.14 mg/L en la laguna de maduración 1 y 0.31 mg/L en la laguna de maduración 2. Con este análisis se evidencia que la PTAR de Ucubamba realiza un correcto proceso de tratamiento con respecto a los Sólidos Sedimentables, ya que el

tratamiento por lagunas de oxidación tiene un período de retención prolongado (12 a 15 días) de las aguas residuales, permitiendo que los sólidos sedimentables se depositen en el fondo de las lagunas, disminuyendo considerablemente su concentración al final del proceso.

4.2.8 Sólidos Suspendidos Totales

La **figura 34** muestra una serie de datos históricos de los sólidos suspendidos totales conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 21** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Sólidos Suspendidos Totales.

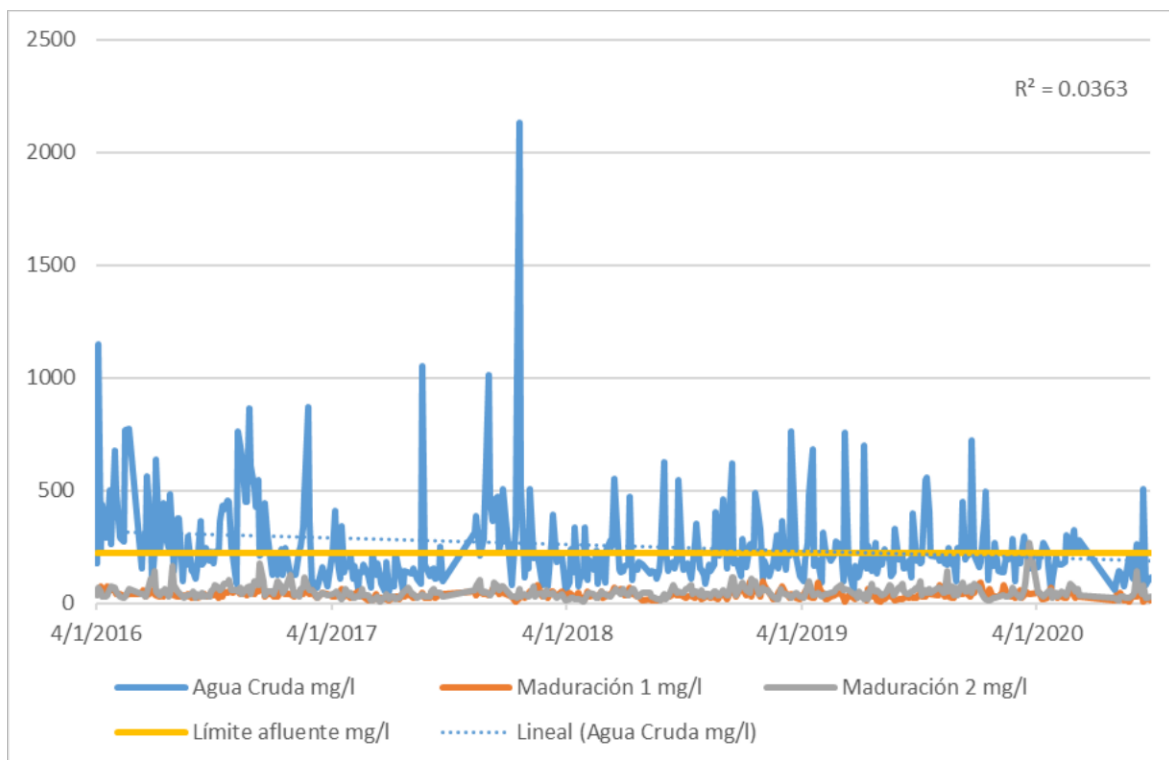


Figura 34: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Suspendidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 21: Estadística Descriptiva - Sólidos Suspendidos Totales

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	2132	99	268
Media	251.57	36.57	48.39
Mínimo	52	6	5
Desviación Estándar	195.80	16.40	26.81
Coefficiente de Variación	77.83%	44.84%	55.41%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

En el gráfico del agua cruda se evidencian una gran cantidad de datos que sobrepasan el límite máximo permisible de 220 mg/L del afluente con un valor máximo de 2132 mg/L, por lo que llega

una gran cantidad de sólidos suspendidos totales a la planta. No existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico de los datos. Las medias de la maduración 1 y 2 bajan considerablemente después del tratamiento del agua cruda, tomando en cuenta que los coeficientes de variación son relativamente normales debido a que los datos se encuentran dispersos con respecto a su media.

La **figura 35** muestra una serie de datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 de los sólidos suspendidos totales.

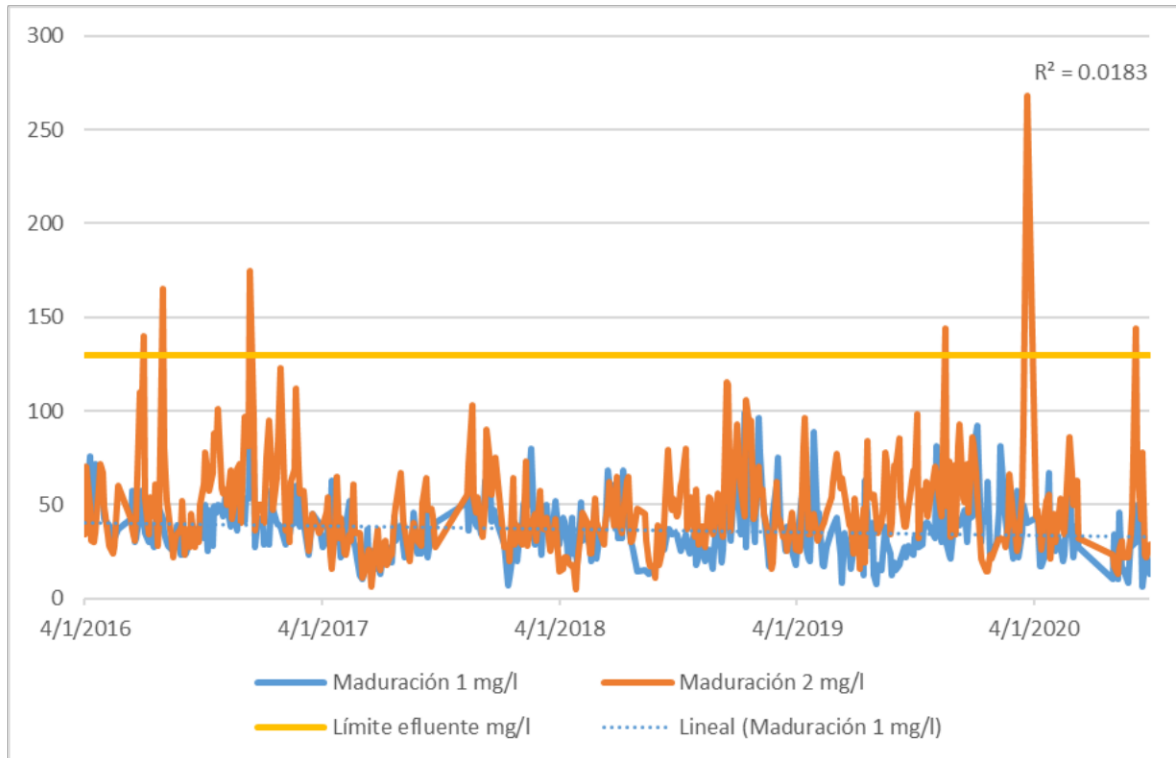


Figura 35: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Suspendidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencia que algunos valores sobrepasan los límites permisibles establecidos en 130 mg/L. La laguna de maduración 1 presenta una media de 36.57 mg/L y la laguna de maduración 2 muestra una media de 48.39 mg/L después de su tratamiento. Tomando en cuenta que la concentración de SST en el agua cruda llega relativamente alta a la PTAR, se puede decir que los procesos empleados presentan una considerable remoción de la concentración de SST, debido a que las lagunas de oxidación están diseñadas para la remoción efectiva de sólidos en suspensión en aguas residuales. Sin embargo, pueden existir problemas en su tratamiento que afecten el resultado esperado, tales como una posible entrada de sólidos externos al sistema cerrado de las lagunas, o procesos de eliminación incompletos debido a procesos de retención menores a los establecidos o presencia de partículas o coloides difíciles de eliminar durante el tratamiento.

4.2.9 Sólidos Totales

La **figura 36** muestra una serie de datos históricos de los sólidos totales conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 22** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Sólidos Totales.

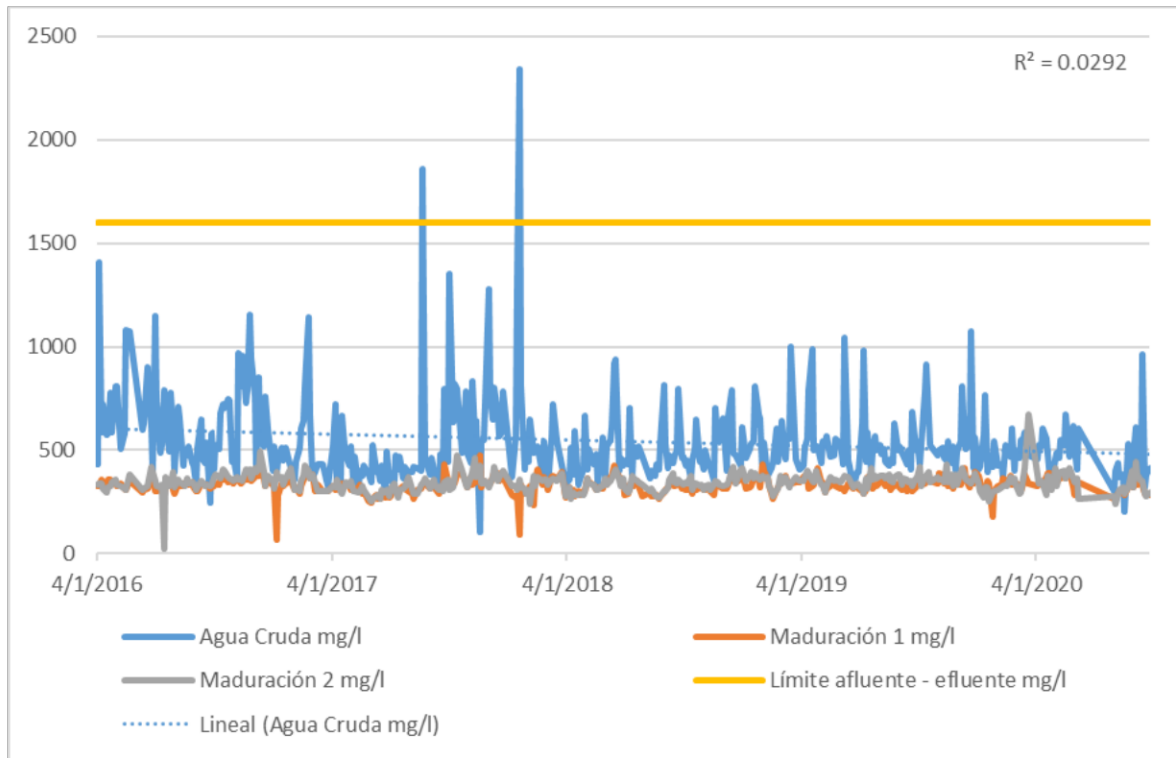


Figura 36: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 - Sólidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 22: Estadística Descriptiva - Sólidos Totales

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	2344	474	673
Media	545.10	330.23	343.51
Mínimo	102	67	26.10
Desviación Estándar	211.31	38.22	44.61
Coefficiente de Variación	38.76%	11.58%	12.99%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Los límites permisibles para el afluente y efluente de los sólidos totales se encuentran por debajo de los 1600 mg/L. Se observa una concentración relativamente baja en el agua cruda (afluente) con algunos picos que sobrepasan el límite, con una media de 545.10 mg/L y un máximo de 2344 mg/L. No existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico de los datos. Las lagunas de maduración 1 y 2 presentan unas medias similares, con un porcentaje de coeficiente de variación bajo, esto significa que los datos se encuentran compactos. Se evidencia que la PTAR de Ucubamba

presenta una eficiencia positiva en cuanto al tratamiento de los sólidos totales debido a que el tratamiento por lagunas de oxidación es muy eficiente en cuanto a los sólidos por los procesos de sedimentación y al tiempo de retención.

4.2.10 Sulfatos

La **figura 37** muestra una serie de datos históricos de Sulfatos conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 23** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Sulfatos.

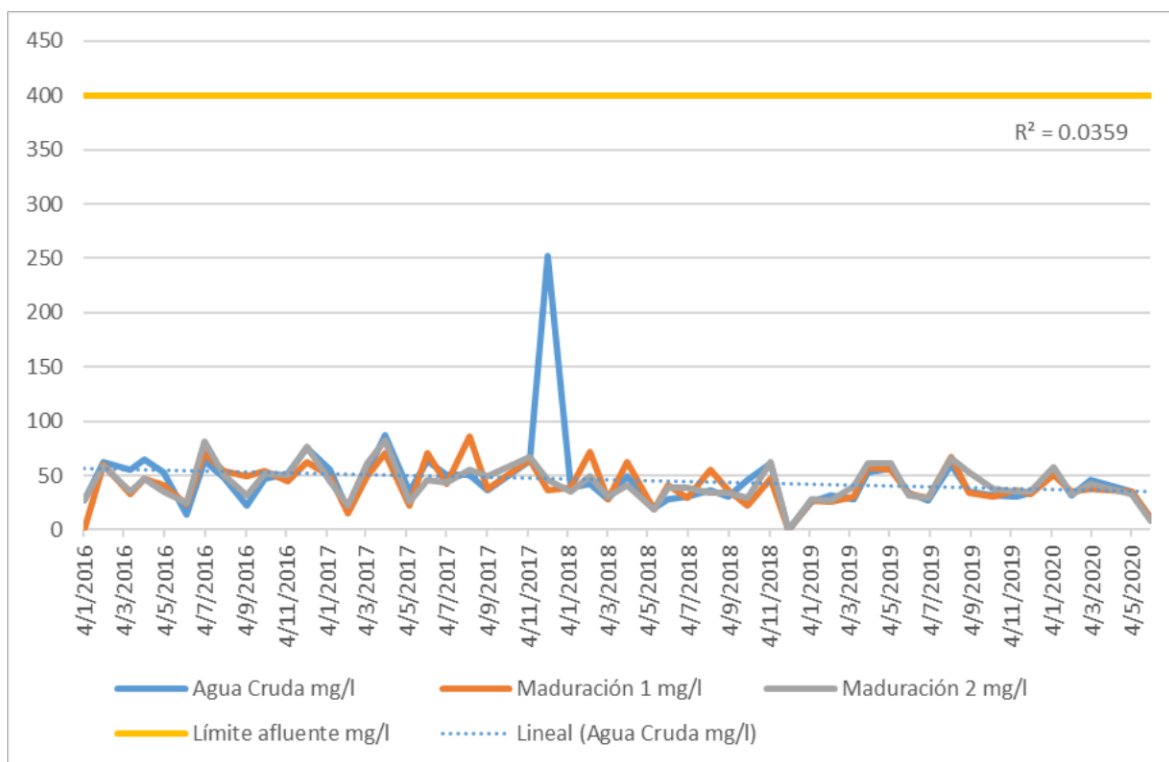


Figura 37: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfatos

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 23: Estadística Descriptiva - Sulfatos

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	252.29	85.90	82.72
Media	45.96	42.52	42.50
Mínimo	0.36	0.31	0.25
Desviación Estándar	33.83	17.77	16.84
Coefficiente de Variación	73.60%	41.80%	39.61%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La concentración de sulfatos en el agua cruda que llega a la PTAR de Ucubamba es baja; el límite permisible es de 400 mg/L y llega un agua cruda con concentración promedio de 45.96 mg/L. Existe una leve tendencia decreciente con el paso de los años, pero sin existir ningún tipo de

estacionalidad o comportamiento cíclico de los datos. El realizar una comparación entre sus medias, se observa un pico de 252.29 mg/L en el agua cruda en diciembre de 2017, por lo que su media aumenta considerablemente con ese valor atípico. Se retiró el valor atípico en el agua cruda y su media bajo a 41.92 mg/L, debido a esto se evidencia un ligero aumento de la concentración de los sulfatos en las lagunas de maduración 1 y 2.

Debido al diseño de las lagunas de oxidación que se centra en el tratamiento biológico de la materia orgánica, la reducción de las concentraciones de sulfato no es eficiente. Los sulfatos son compuestos químicos inorgánicos que no se biodegradan con facilidad por los microorganismos activos en las lagunas y no presentan condiciones óptimas para su eliminación (Águila et al., 2003). A la PTAR llega una baja concentración de sulfatos, por lo que no presenta una amenaza en cuanto a su baja eficiencia de eliminación.

4.2.11 Sulfuros

La **figura 38** muestra una serie de datos históricos de Sulfuros conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 24** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Sulfuros

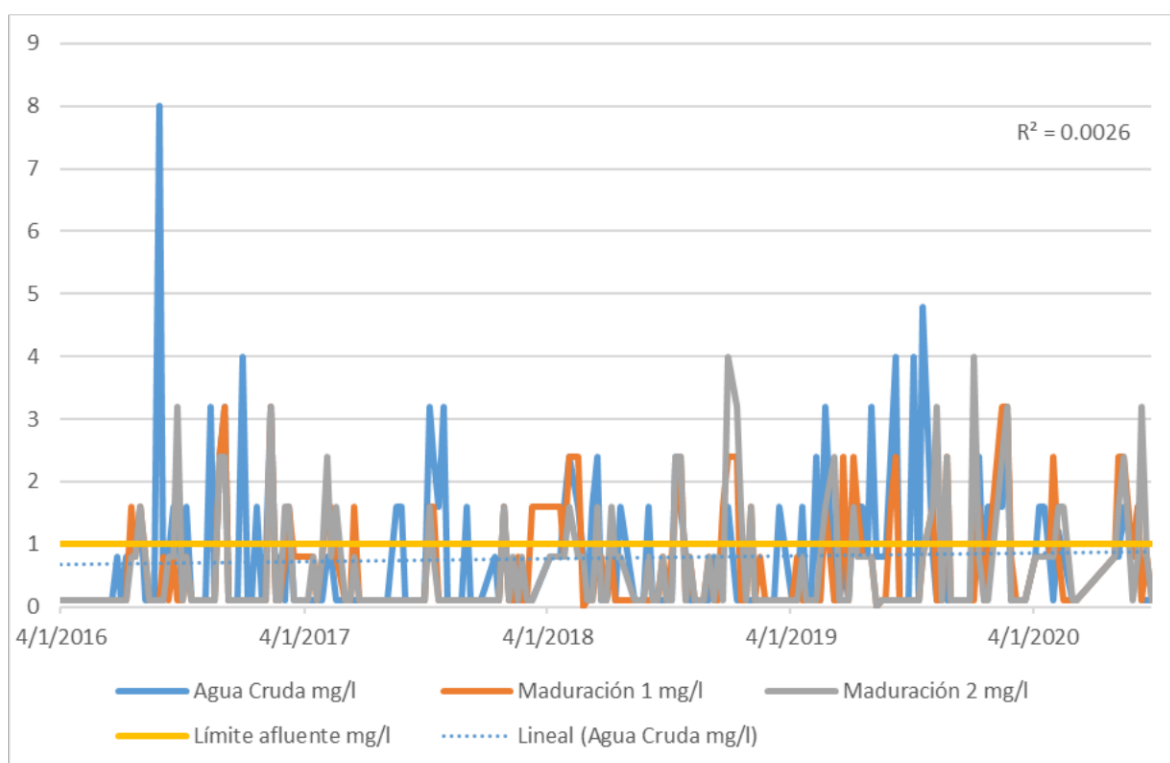


Figura 38: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfuros

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 24: Estadística Descriptiva - Sulfuros

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	8.00	3.20	4.00
Media	0.78	0.60	0.61
Mínimo	0.10	0.00	0.00
Desviación Estándar	1.11	0.79	0.85
Coefficiente de Variación	141.64%	131.62%	139.25%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se observan que, tanto los datos de agua cruda como los datos de las lagunas de maduración 1 y 2 sobrepasan el límite permisible en el afluente de 1 mg/L. No existe alguna tendencia, estacionalidad o comportamiento cíclico de los datos. Los coeficientes de variación son muy altos, por lo que significa que los datos se encuentran muy dispersos con respecto a sus medias. Una elevada concentración de sulfuros puede llegar a presentar malos olores y toxicidad en el agua llegando a ser mortal para los seres vivos acuáticos.

La **figura 39** muestra una serie de datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 de sulfuros.

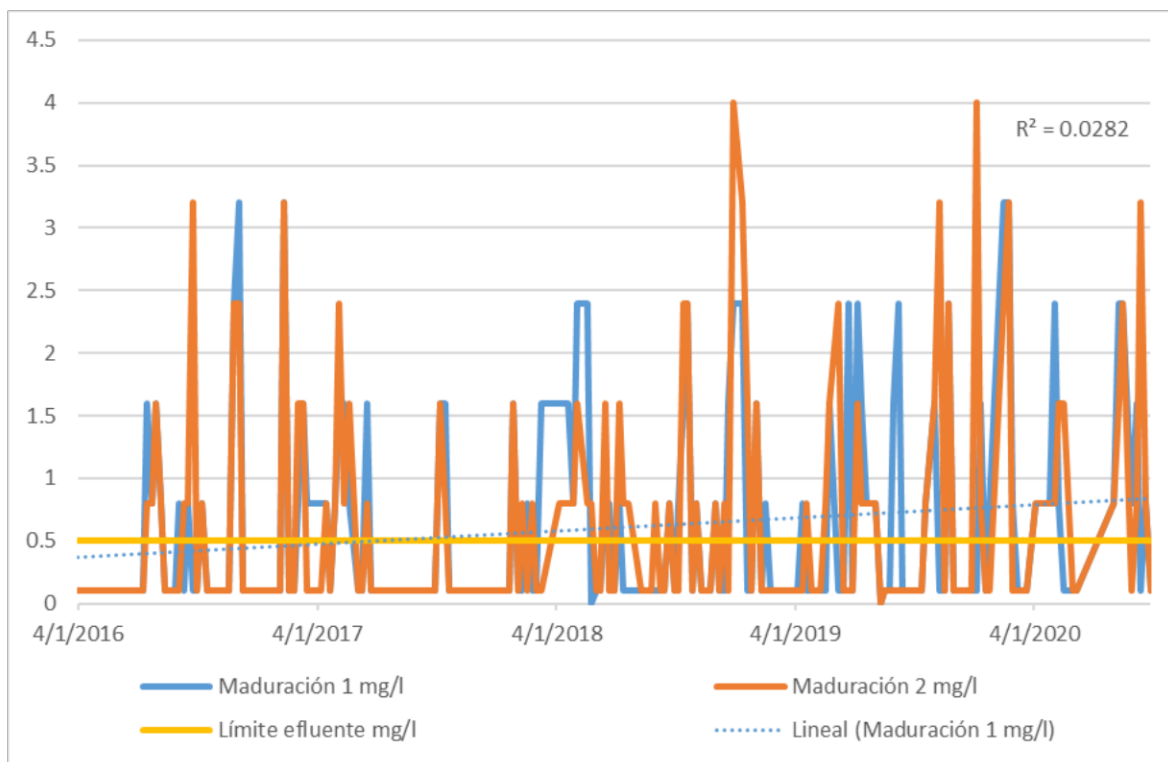


Figura 39: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Sulfuros

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Existen datos que sobrepasan el límite de vertido permisible de 0.5 mg/L. Se observa que las medias en las lagunas de maduración 1 y 2 son mayores al límite permisible. Su coeficiente de variación es alto con una leve tendencia creciente con el paso de los años, pero sin existir

estacionalidad o comportamiento cíclico. Los sulfuros son compuestos químicos persistentes que se crean en condiciones anaeróbicas. Al recibir una correcta cantidad de oxígeno, los sulfuros consumen dicho oxígeno durante el proceso y se convierten en sulfatos, disminuyendo así la concentración de sulfuros en las aguas residuales. Según la figura 39, la concentración de sulfuros se mantiene alta tanto en el afluente como en el efluente y puede darse por varias razones, una de ellas puede ser debido un mal diseño de las lagunas de oxidación de la PTAR de Ucubamba, por ejemplo, una mala separación de las zonas aerobias y anaeróbicas o un mal sistema de aireación.

4.2.12 Aceites y Grasas

La **figura 40** muestra una serie de datos históricos de aceites y grasas conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 25** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Aceites y Grasas.

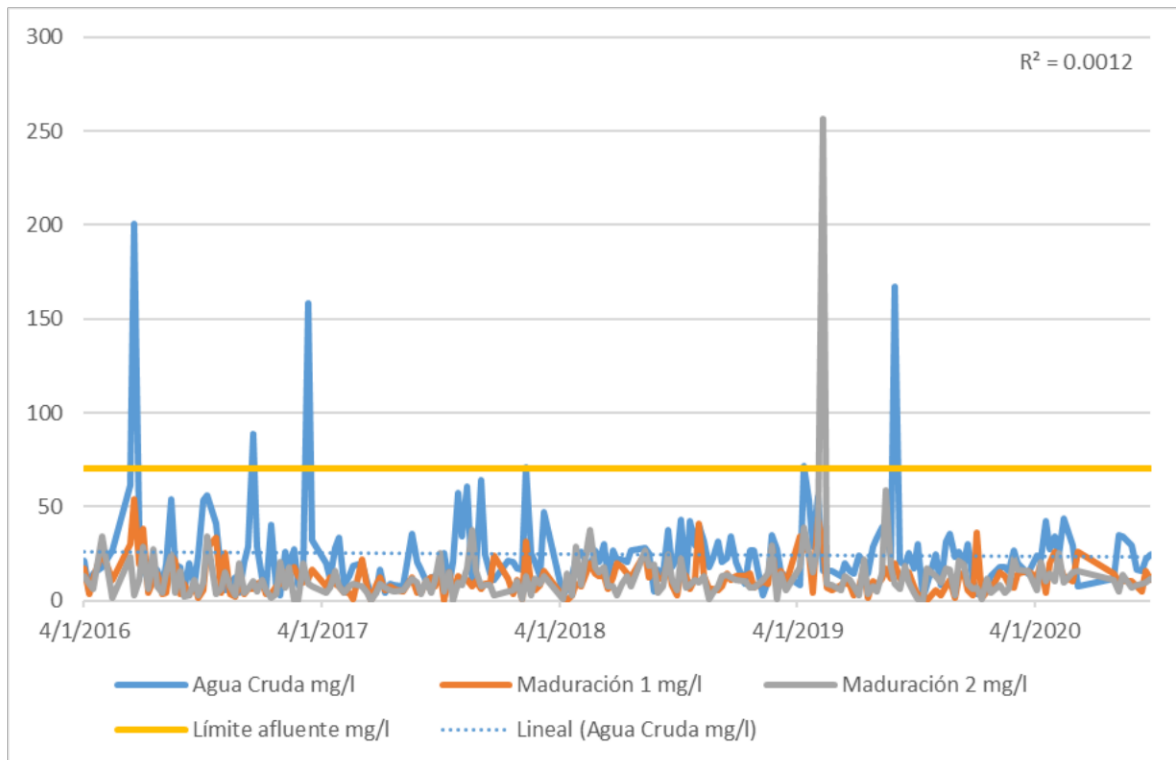


Figura 40: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Aceites y Grasas
Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

Tabla 25: Estadística Descriptiva - Aceites y Grasas

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	200.40	54	256.50
Media	24.66	11.69	12.32
Mínimo	1.60	0.00	0.00
Desviación Estándar	23.64	8.72	19.42
Coefficiente de Variación	95.83%	74.60%	157.66%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

En base a la figura 40 se evidencia que existe leve tendencia creciente en los datos de agua cruda, es decir, que aumentan las concentraciones de aceites y grasas con el paso de los años, pero no presenta estacionalidad o comportamiento cíclico, con un valor R^2 de 0.0012 significa que los datos no pueden generar predicción en su comportamiento. Algunos valores de agua cruda sobrepasan el límite de 70 mg/L de entrada a la PTAR (afluente). El porcentaje del coeficiente de variación es alto, es decir, los datos se encuentran muy dispersos con respecto a su media.

La **figura 41** se presentan los datos históricos de la calidad de las lagunas de maduración 1 y 2 de aceites y grasas.

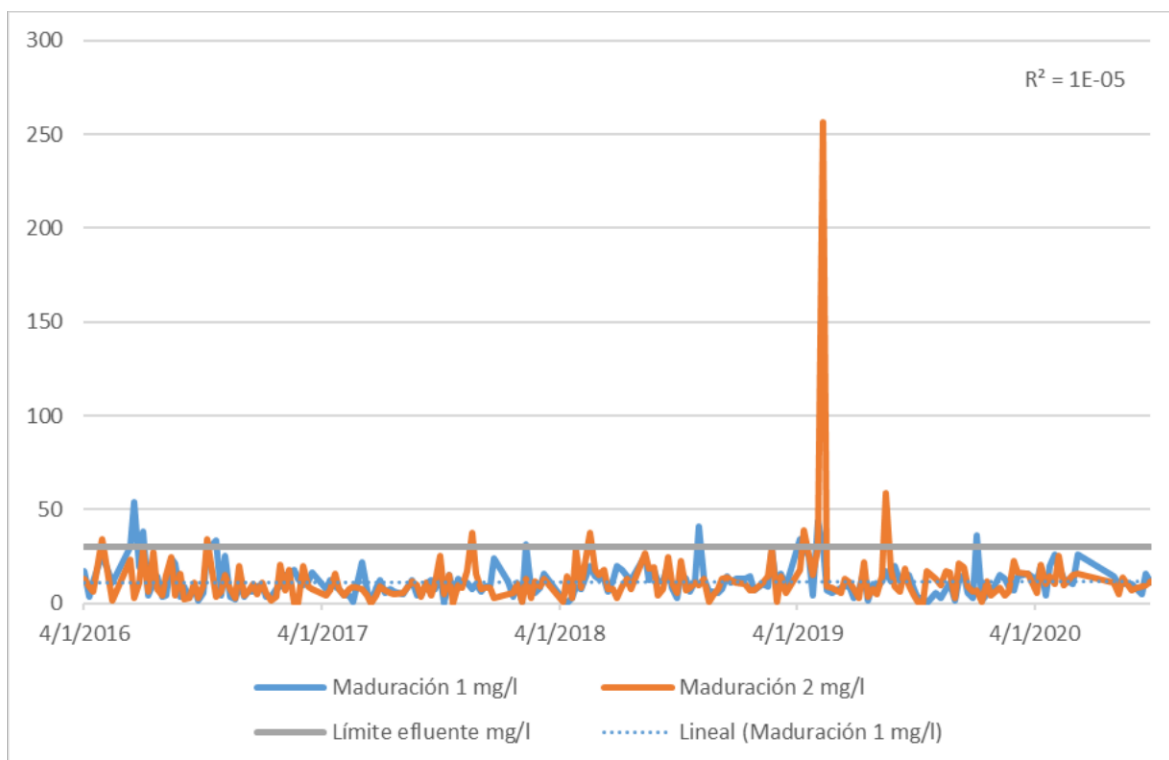


Figura 41: Serie de datos histórica Lagunas de Maduración 1 y 2 – Aceites y Grasas

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

En sus dos fases de maduración, existen valores que sobrepasan el límite permisible de descarga de 30 mg/L. Los aceites y grasas requieren de tiempos más prolongados en las lagunas de oxidación para una correcta separación, si la concentración de aceites y grasas es elevada al

momento de ingresar a la planta, puede que las lagunas no sean capaces de reducir dicha concentración, además, las PTAR por lagunas de oxidación como Ucubamba, no poseen tecnologías para un tratamiento adecuado tales como, separadores de grasas o procesos de coagulación – floculación que ayudan en la eliminación del contaminante.

4.2.13 Coliformes Totales

La **figura 42** muestra una serie de datos históricos de Coliformes Totales conformada por el agua cruda y las lagunas de maduración 1 y 2. La **tabla 26** presenta una estadística descriptiva del comportamiento histórico de los Coliformes Totales.

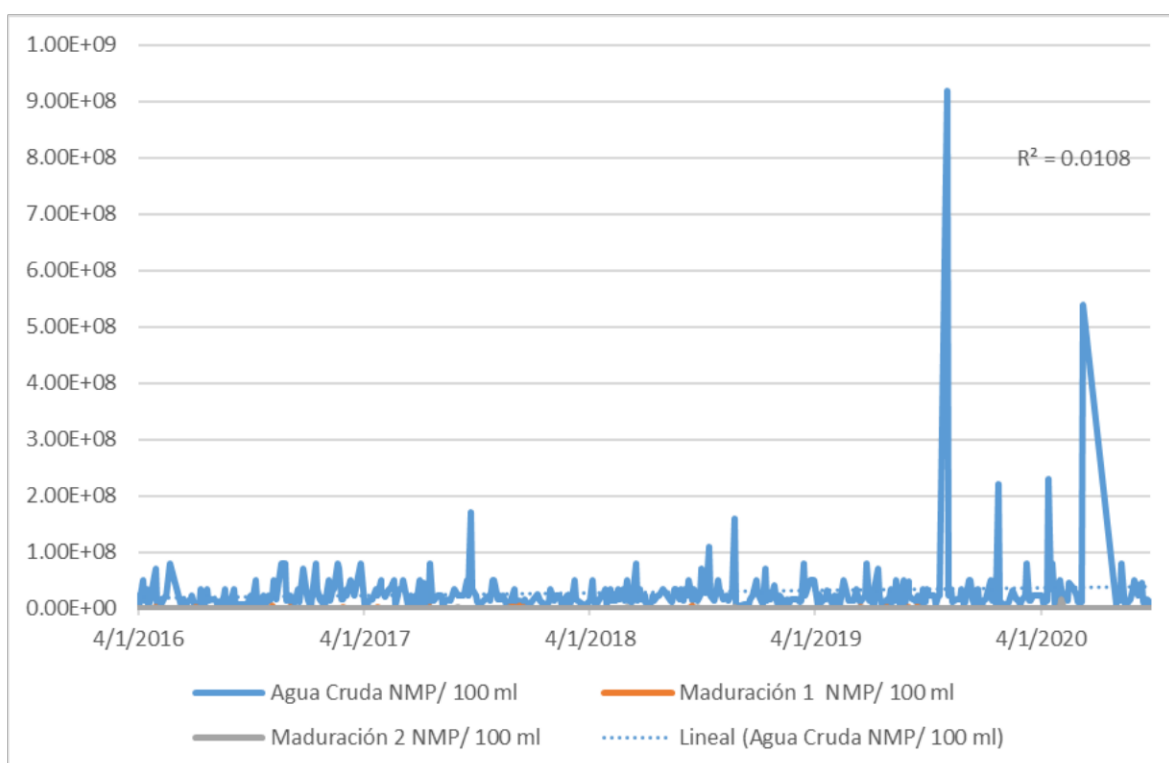


Figura 42: Serie de datos histórica Agua Cruda, Lagunas de Maduración 1 y 2 – Coliformes Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 26: Estadística Descriptiva - Coliformes Totales

	Agua Cruda	Maduración 1	Maduración 2
Máximo	920,000,000	4,600,000	16,000,000
Media	27,957,750	262,258.49	198,940
Mínimo	1,100,000	1,999	1,300
Desviación Estándar	57,253,500.31	457,682.90	827,739.11
Coefficiente de Variación	204.79%	174.52%	416.07%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

A pesar de que no exista un límite permisible de acuerdo con la norma ambiental vigente del Ecuador. Se puede apreciar que existe una considerable disminución de la concentración en las

lagunas de maduración 1 y 2. Sus medias bajan considerablemente, al igual que sus mínimos y máximos. El coeficiente de variación es relativamente alto por lo que puede afirmar que los datos se encuentran muy dispersos entre sí. El tratamiento de las lagunas de oxidación es eficiente en el tratamiento de los Coliformes Totales debido a que poseen un tratamiento de origen biológico, que producen condiciones favorables para su degradación. Durante el tratamiento, los microorganismos aerobios y algunas bacterias descomponen la materia orgánica y utilizan de alimento a los Coliformes Totales, generando una considerable disminución en su concentración.

A continuación, en la **tabla 27** se presenta un cuadro resumen del cumplimiento de la serie de datos histórica para cada parámetro de contaminación medido por la PTAR de Ucubamba.

Tabla 27: Resumen de cumplimiento por parámetro de las series estandarizadas

Parámetro	Límite permisible	Cumplimiento
BDO ₅	250 mg/l	Cumple
DQO	500 mg/l	Incumple
Fósforo Total	15 mg/l	Cumple
Nitrógeno Total	60 mg/l	Cumple
pH	6 - 9'	Cumple
Sólidos Sedimentables	20 mg/l	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	130 mg/l	Cumple
Sólidos Totales	1600 mg/l	Cumple
Sulfatos	1000 mg/l	Cumple
Sulfuros	0.5 mg/l	Incumple
Aceites y Grasas	30 mg/L	Incumple
Coliformes Totales	-	-

Elaboración: Propia

4.3 Carga Contaminante

4.3.1 DBO₅

La **figura 43** muestra la carga contaminante por DBO₅ del agua cruda (afluente) y la carga contaminante total (efluente).

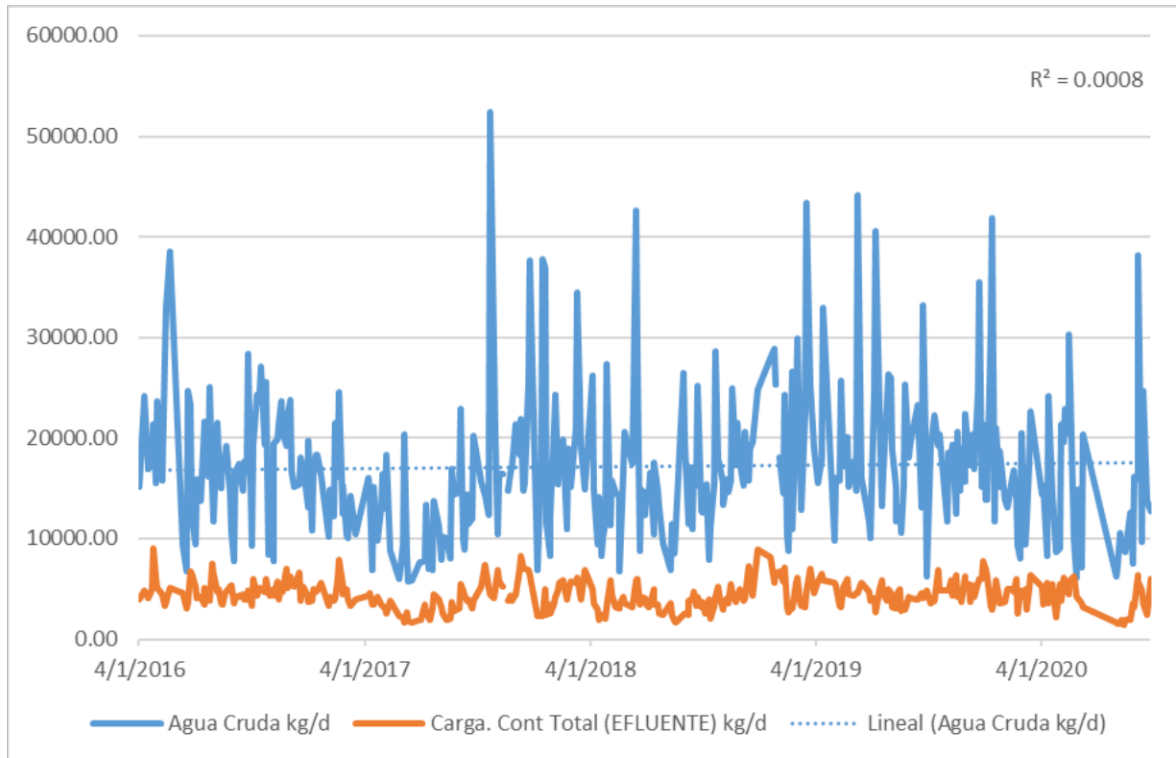


Figura 43: Carga Contaminante por DBO₅ - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente)

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

En la figura anterior, se evidencia una considerable remoción de la carga contaminante de DBO₅ a pesar de que existen grandes picos de contaminación en el afluente de la PTAR, dado que la carga contaminante total medida en el efluente evidencia elevados niveles de remoción con valores menos dispersos con relación a su media, tal como se describe en la **tabla 28**, donde se muestra una estadística descriptiva del porcentaje de remoción de la carga contaminante por DBO₅.

Tabla 28: Estadística Descriptiva – Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por DBO₅

	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 1	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 2	Porcentaje de Remoción Total
Máximo	95.16%	95.09%	93.95%
Media	73.00%	69.89%	71.66%
Mínimo	30.65%	2.50%	22.42%
Desviación Estándar	11.75%	14.55%	11.95%
Coficiente de Variación	16.10%	20.82%	16.68%

Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

La **figura 44** muestra el porcentaje de remoción total de la carga contaminante por DBO₅ de los años 2016 a junio del 2020.

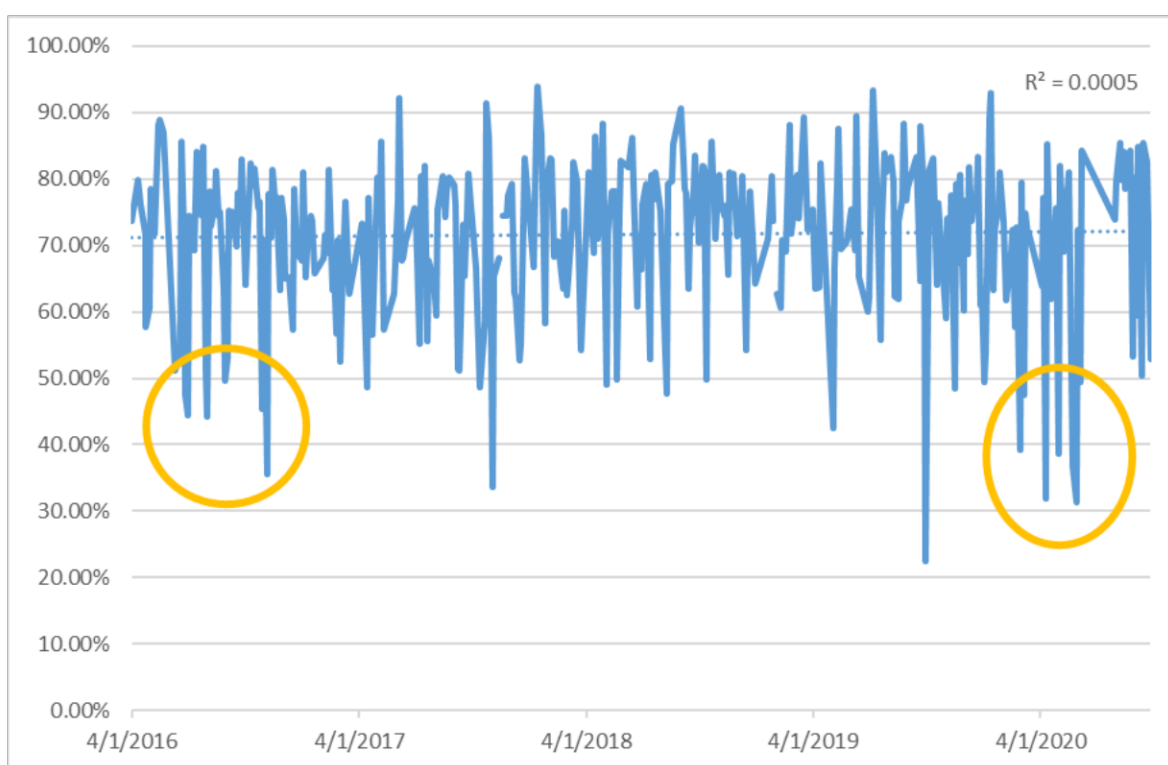


Figura 44: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por DBO₅

Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

Presenta una media del 71.66% con un máximo porcentaje de remoción de 93.95%, esto muestra que a pesar de que la eficiencia de remoción de carga contaminante de la PTAR de Ucubamba no llega al 95%, esto no quiere decir que la planta esté tratando la contaminación de una manera poco eficiente, ya que existen casos en el que el afluente que llega a la planta presenta una concentración relativamente baja del contaminante con respecto a los límites permitidos de vertido. Por ejemplo, en el caso del porcentaje mínimo de remoción de la planta del 22.42%, ese día llegó a la PTAR una concentración de 40 mg/L de DBO₅ y las lagunas de maduración 1 y 2 vertieron 25 mg/L y 39 mg/L

respectivamente, por lo que eficiencia de la planta sigue siendo alta. La desviación estándar es de 11.95%, es decir, una desviación relativamente cercana a su media, por lo que los datos no se encuentran muy dispersos y esto indica que la mayoría de los porcentajes de remoción oscilan al 71.66% de eficiencia. Existen mínimos señalados por un círculo amarillo, en donde la PTAR presenta una disminución de la eficiencia de una manera continua o prolongada, esos mínimos deben analizarse una mejor manera y encontrar las causas de esos descensos.

La **figura 45** muestra una comparación del porcentaje de remoción de las lagunas de maduración 1 y 2 por DBO₅. La **tabla 29** muestra una estadística descriptiva de la concentración del agua cruda por DBO₅.

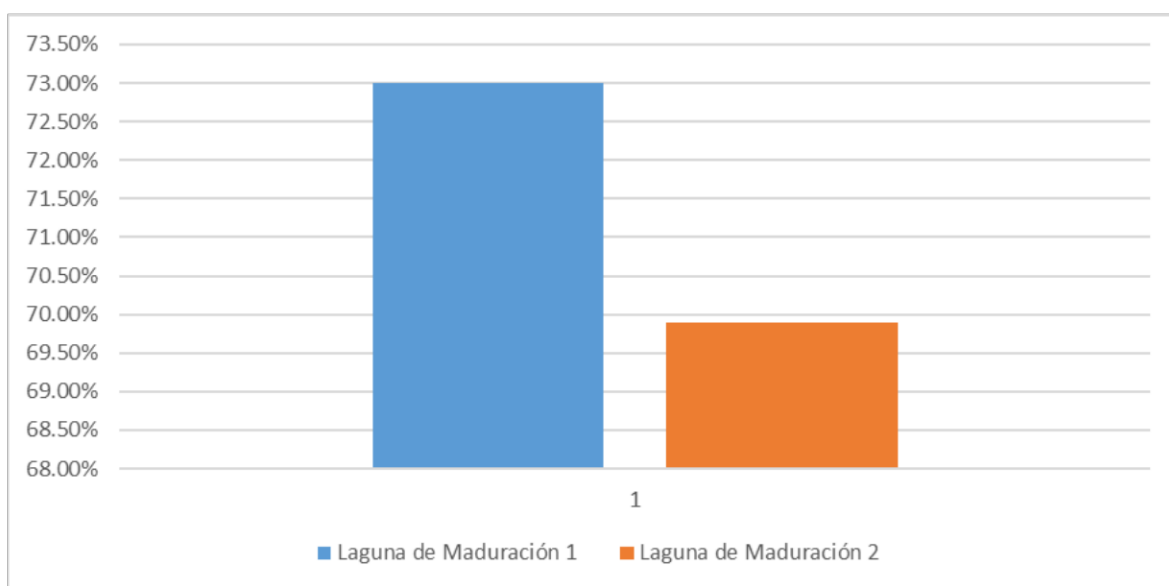


Figura 45: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por DBO₅

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 29: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda DBO₅

	Concentración Agua Cruda (mg/L)
Mediana	106.50
Q1 = 25%	83.75
Q3 = 75%	135.00
Percentil 95%	198.05
Percentil 40%	100.00

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La laguna de maduración 1 presenta un porcentaje de remoción del 73% a comparación de la laguna de maduración 2 que presenta un porcentaje de remoción del 69.89%. La laguna de maduración presenta una desviación estándar más baja que la laguna de maduración 2, por lo que se podría afirmar con certeza que, en base a los datos obtenidos, la laguna de maduración 1 es más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante de DBO₅ que la laguna de maduración 2. Además, en la tabla se evidencia una descripción del comportamiento de la concentración del agua

cruda de DBO₅, en donde se tiene una mediana que muestra que el 50% de las veces el agua cruda presenta una concentración de 106.50 mg/L y se tiene un percentil que muestra que el 40% de las ocasiones llega a una concentración igual o menor de 100 mg/L, que es el límite permisible para vertido, es decir, los operadores pueden dejar pasar esa agua residual que llega a la PTAR sin ningún tipo de tratamiento al cuerpo receptor el 40% de las ocasiones y no presentaría ningún tipo de contaminación y gasto adicional.

4.3.2 DQO

La **figura 46** muestra la carga contaminante por DQO del agua cruda (afluente) y la carga contaminante total (efluente).

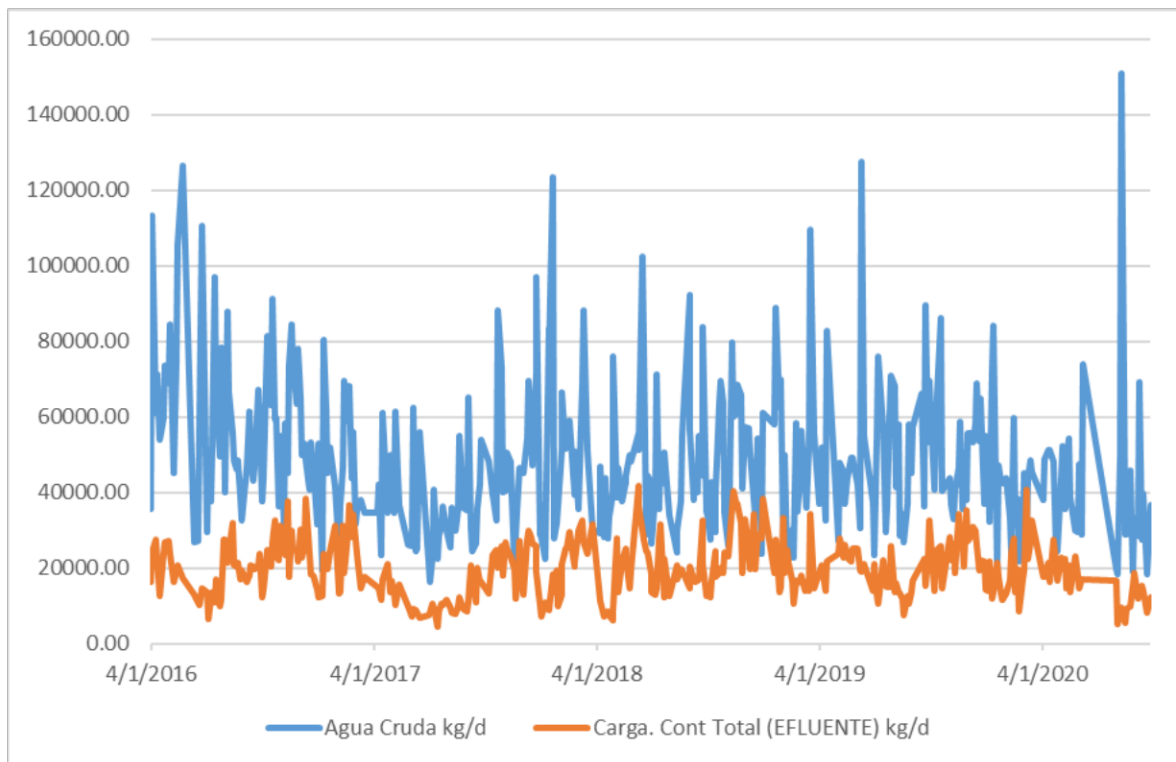


Figura 46: Carga Contaminante por DQO - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente)

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se presenta una remoción parcial de la carga contaminante, a pesar de que existen grandes picos, se evidencia que existe una correcta remoción. La **figura 47** muestra el porcentaje de remoción total de la carga contaminante por DQO de los años 2016 a junio del año 2020. La **tabla 30** muestra una estadística descriptiva del porcentaje de remoción de la carga contaminante por DQO.

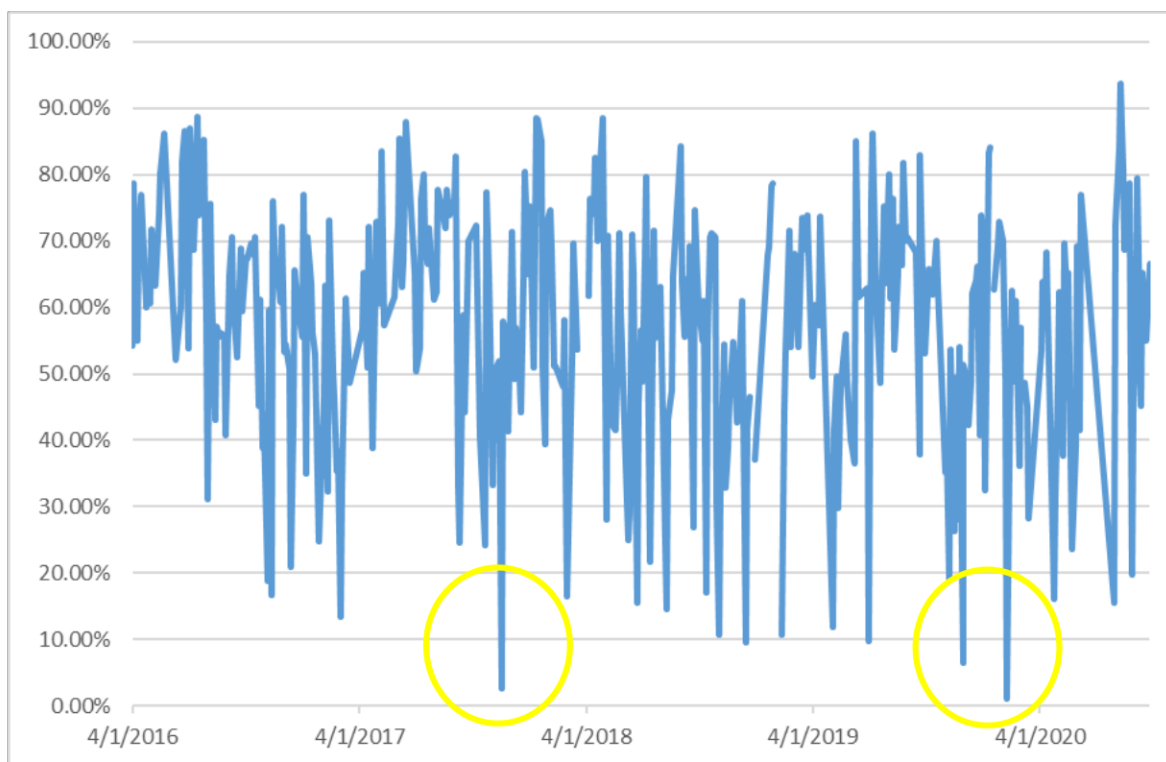


Figura 47: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 30: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por DQO

	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 1	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 2	Porcentaje de Remoción Total
Máximo	94.44%	97.89%	93.65%
Media	58.58%	55.35%	57.19%
Mínimo	-20.25%	-33.55%	1.01%
Desviación Estándar	18.96%	21.15%	18.25%
Coficiente de Variación	32.36%	38.21%	31.91%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Presenta una media del 57.19% con un máximo porcentaje de remoción de 93.65%. La desviación estándar es de 18.25%, es decir, una desviación relativamente cercana a su media, por lo que los datos no se encuentran muy dispersos y esto indica que la mayoría de los porcentajes de remoción oscilan al 57.19% de eficiencia. Es un porcentaje de remoción de la carga contaminante de DQO muy bajo y con su desviación estándar baja significa que los datos se encuentran muy cerca a ese porcentaje. Existen registros mínimos, marcados en un círculo amarillo en la figura 47, en donde la remoción se aproxima a 0%, esto ocurrió porque en esas ocasiones específicas la carga contaminante que entró a la planta prácticamente no fue removida debido a que, en esos días en específico se registraron concentraciones en el afluente de 158 mg/L y después de su tratamiento

la concentración del efluente fue de 113 mg/L en la laguna de maduración 1 y 208 mg/L en la laguna de maduración 2.

La **figura 48** muestra una comparación del porcentaje de remoción de las lagunas de maduración 1 y 2 por DQO. La **tabla 31** muestra una estadística descriptiva de la concentración del agua cruda por DQO.

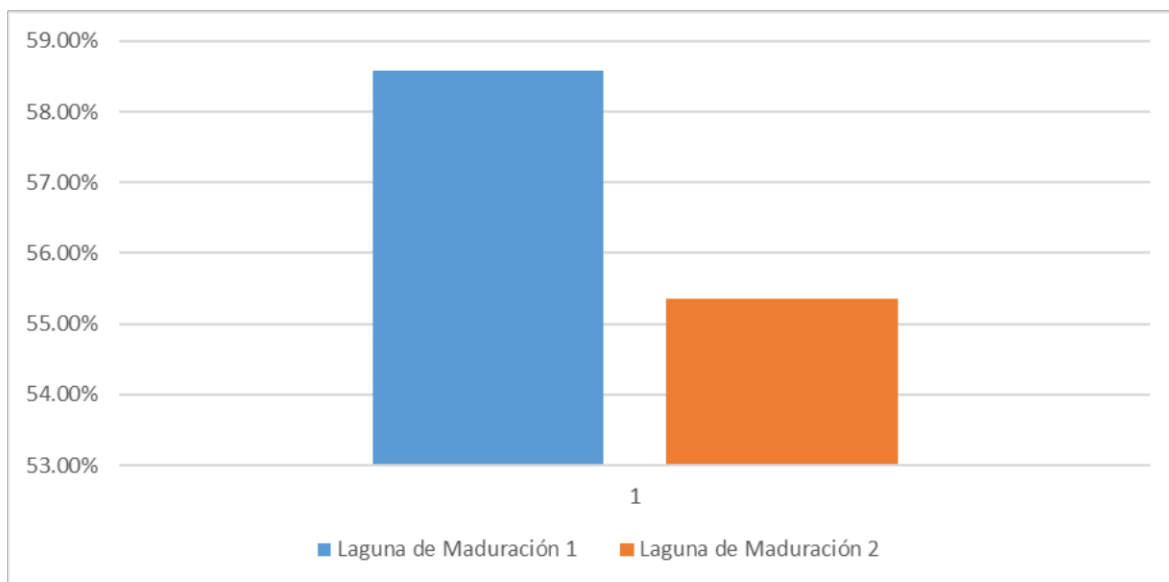


Figura 48: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 31: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda DQO

	Concentración Agua Cruda (mg/L)
Mediana	305.00
Q1 = 25%	236.50
Q3 = 75%	388.75
Percentil 95%	564.50
Percentil 30%	250.50

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La laguna de maduración 1 presenta un porcentaje de remoción del 58.58% a comparación de la laguna de maduración 2 que presenta un porcentaje de remoción del 55.35%. La laguna de maduración presenta una desviación estándar más baja que la laguna de maduración 2, por lo que se podría afirmar con certeza que, en base a los datos obtenidos, la laguna de maduración 1 es más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante de DQO que la laguna de maduración 2. Además, en la tabla se evidencia una descripción del comportamiento de la concentración del agua cruda de DQO, en donde se tiene una mediana que muestra que el 50% de las veces el agua cruda presenta una concentración de 305 mg/L y se tiene un percentil que muestra que el 30% de las ocasiones llega una concentración igual o menor de 250 mg/L, que es el límite permisible para vertido, es decir, los operadores pueden dejar pasar esa agua residual que llega a la PTAR sin

ningún tipo de tratamiento al cuerpo receptor el 30% de las ocasiones y no presentaría ningún tipo de contaminación y gasto adicional.

4.3.3 Nitrógeno Total Kjeldahl

La **figura 49** muestra la carga contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl del agua cruda (afluente) y la carga contaminante total (efluente).

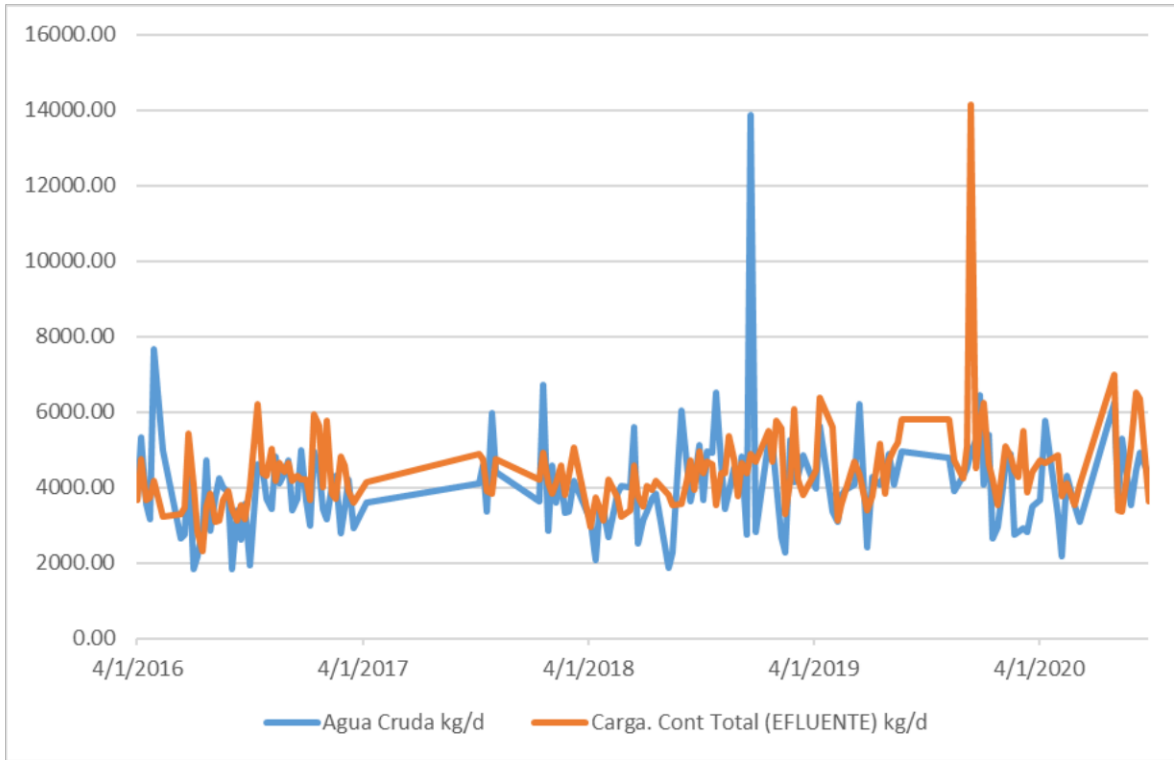


Figura 49: Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente)

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencia que la remoción de la carga contaminante no es muy efectiva y a simple vista se mantiene o aumenta. La **figura 50** muestra el porcentaje de remoción total de la carga contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl de los años 2016 a junio del año 2020. La **tabla 32** muestra una estadística descriptiva del porcentaje de remoción de la carga contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl.

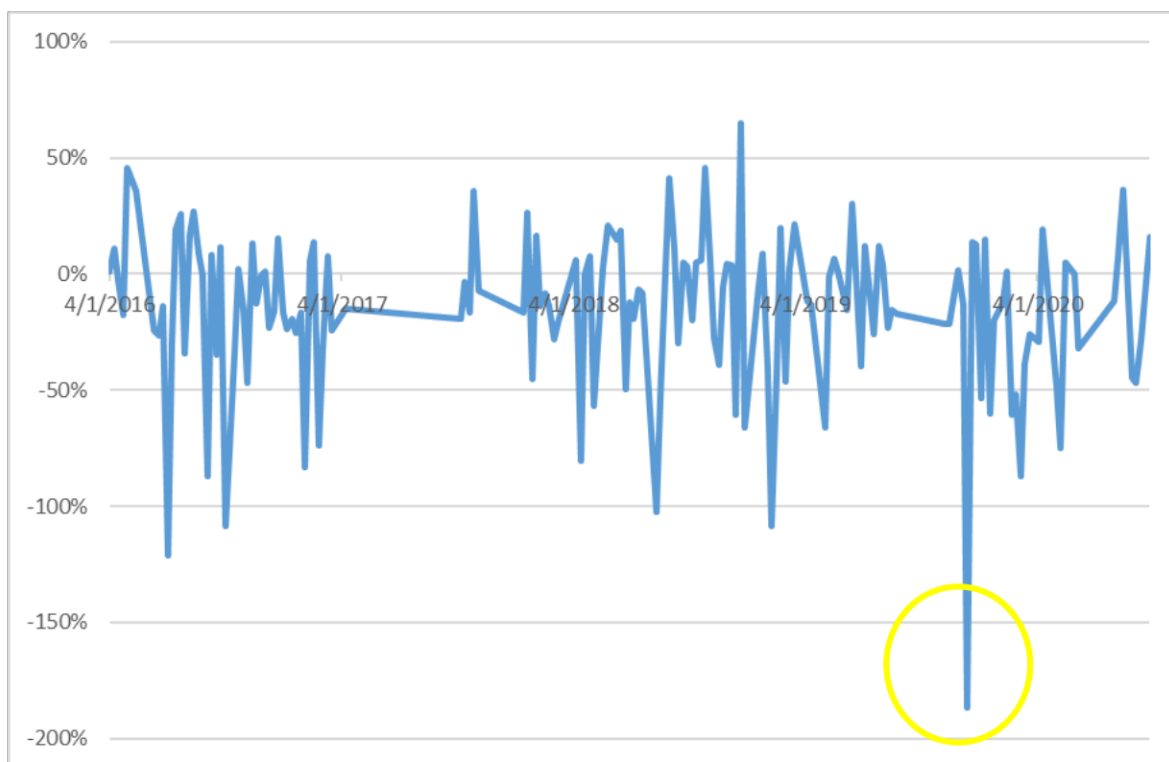


Figura 50: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 32: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Nitrógeno Total Kjeldahl

	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 1	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 2	Porcentaje de Remoción Total
Máximo	59.75%	71.69%	64.90%
Media	-12.52%	-20.02%	-15.75%
Mínimo	-159.80%	-399.91%	-186.50%
Desviación Estándar	35.05%	46.78%	35.26%
Coficiente de Variación	-279.91%	-233.71%	-223.85%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Presenta una media de -15.75% con un máximo porcentaje de remoción de 64.90%. La desviación estándar es de 35.26%, es decir, una desviación relativamente alejada a su media, por lo que los datos se encuentran dispersos. El tener el porcentaje de su media por debajo del 0% de eficiencia, indica que el tratamiento de la PTAR no es efectivo para la contaminación por Nitrógeno Kjeldahl. Existen mínimos marcados un círculo amarillo en donde la remoción es casi del -200%, esto significa que la carga contaminante aumento después de su tratamiento.

La **figura 51** muestra una comparación del porcentaje de remoción de las lagunas de maduración 1 y 2 por Nitrógeno Total Kjeldahl. La **tabla 33** muestra una estadística descriptiva de la concentración del agua cruda por Nitrógeno Total Kjeldahl.

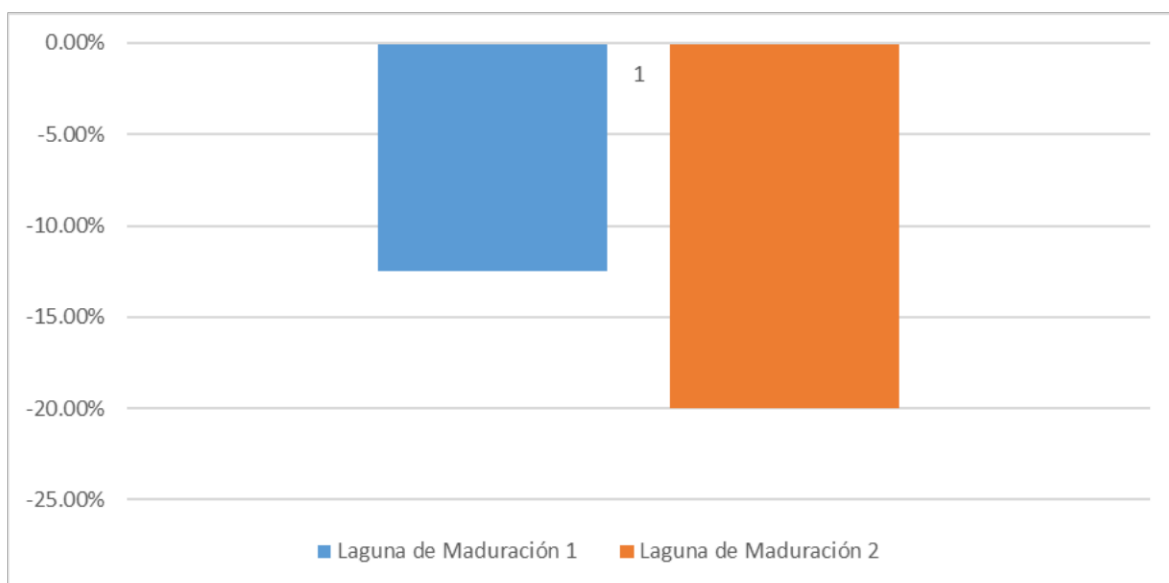


Figura 51: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 33: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Nitrógeno Total Kjeldahl

	Concentración Agua Cruda (mg/L)
Mediana	26.30
Q1 = 25%	22.16
Q3 = 75%	30.82
Probabilidad al 95%	39.94
Percentil 99%	48.04

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La laguna de maduración 1 presenta un porcentaje de remoción del -12.52% a comparación de la laguna de maduración 2 que presenta un porcentaje de remoción del -20.02%. La laguna de maduración presenta una desviación estándar más baja que la laguna de maduración 2, por lo que se podría afirmar con certeza que, en base a los datos obtenidos, la laguna de maduración 1 es más eficiente relativamente en cuanto a remoción de carga contaminante de Nitrógeno Total Kjeldahl que la laguna de maduración 2. Además, en la tabla se evidencia una descripción del comportamiento de la concentración del agua cruda de Nitrógeno Total Kjeldahl, en donde se tiene una mediana que muestra que el 50% de las veces el agua cruda presenta una concentración de 26.30 mg/L y se tiene un percentil que muestra que el 99% de las ocasiones llega una concentración menor que 50 mg/L, que es el límite permisible para vertido, es decir, los operadores pueden dejar pasar esa agua residual que llega a la PTAR sin ningún tipo de tratamiento al cuerpo receptor el 99% de las ocasiones y no presentaría ningún tipo de contaminación y gasto adicional, sin embargo,

cuando el agua cruda entra en el tratamiento produce un efecto contrario del que se pretende que es disminuir la carga contaminante, es decir, la carga contaminante de Nitrógeno Kjeldahl aumenta después de su tratamiento.

4.3.4 Fósforo Total

La **figura 52** muestra la carga contaminante por Fósforo Total del agua cruda (afluente) y la carga contaminante total (efluente).

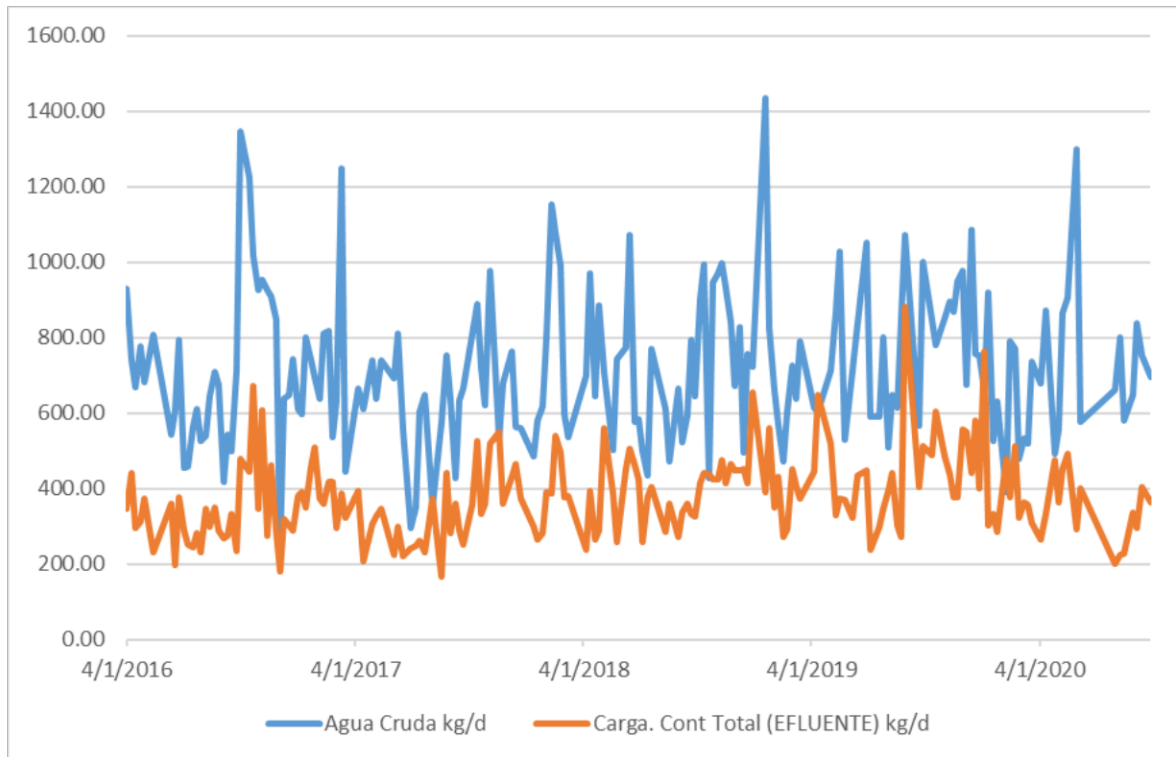


Figura 52: Carga Contaminante por Fósforo Total - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente)

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se observa una considerable llegada de carga contaminante de Fósforo a la planta, se evidencia algunos picos de contaminación a inicios de 2017 y 2019, pero la carga se disminuyó después del tratamiento. La PTAR de Ucubamba está tratando correctamente la cantidad de carga contaminante de Fósforo que llega por parte de la ciudad. La **figura 53** muestra el porcentaje de remoción total de la carga contaminante por Fósforo Total de los años 2016 a junio del año 2020. La **tabla 34** muestra una estadística descriptiva del porcentaje de remoción de la carga contaminante por Fósforo Total.

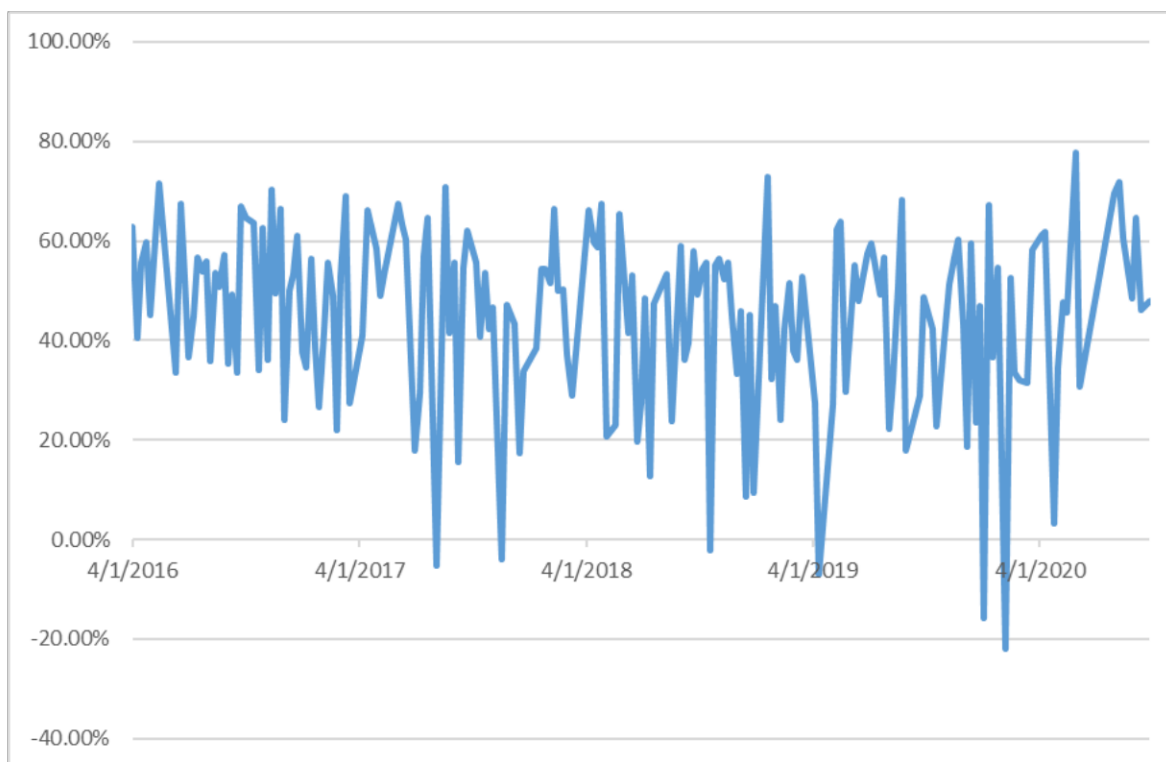


Figura 53: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Fósforo Total

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 34: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Fósforo Total

	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 1	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 2	Porcentaje de Remoción Total
Máximo	77.68%	77.59%	77.64%
Media	45.76%	44.02%	45.01%
Mínimo	-45.70%	-41.89%	-21.98%
Desviación Estándar	20.12%	20.85%	18.06%
Coefficiente de Variación	43.98%	47.36%	40.13%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La remoción de la carga contaminante de Fósforo Total presenta una media del 45.01%, con un máximo de remoción del 77.64%. A pesar de que el porcentaje de eficiencia de remoción del fósforo es inferior al 95%, el tratamiento de la planta es adecuado a las características del afluente. Existen casos en donde el agua cruda que llega a la planta presente una concentración relativamente baja de fósforo total, generando que la planta no aplique los procesos necesarios para disminuir su carga contaminante. La desviación estándar es de 18.06%, una desviación relativamente cercana a su media presentando datos poco dispersos.

La **figura 54** muestra una comparación del porcentaje de remoción de las lagunas de maduración 1 y 2 por Fósforo Total. La **tabla 35** muestra una estadística descriptiva de la concentración del agua cruda por Fósforo Total.

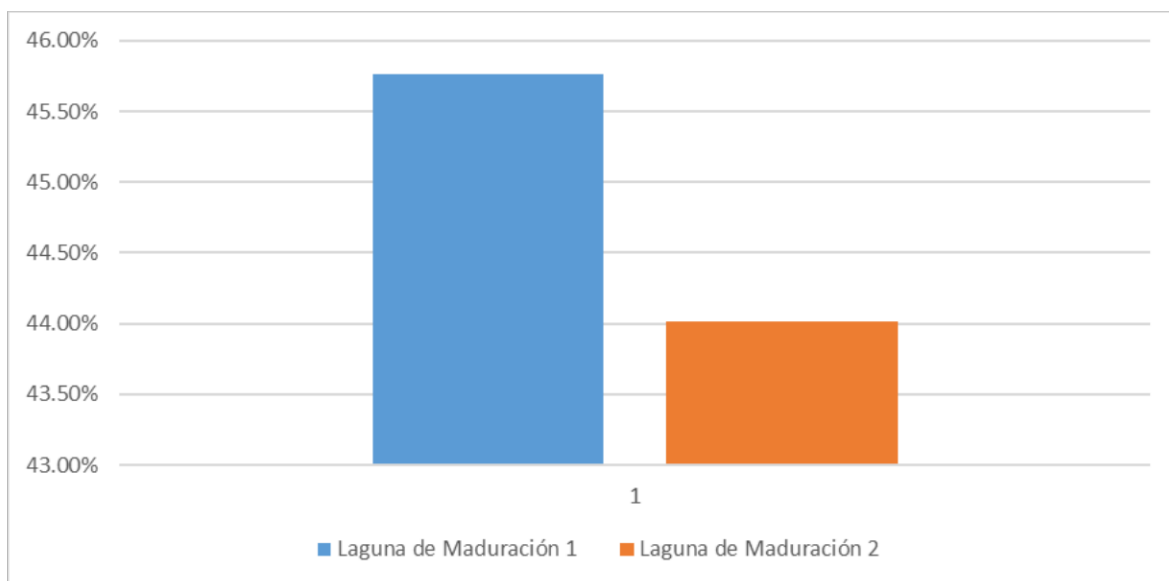


Figura 54: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Fósforo Total

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 35: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Fósforo Total

	Concentración Agua Cruda
Mediana	4.66
Q1 = 25%	3.93
Q3 = 75%	5.54
Probabilidad al 95%	7.08
Percentil 99%	9.55

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La laguna de maduración 1 presenta un porcentaje de remoción del 45.76% a comparación de la laguna de maduración 2 que presenta un porcentaje de remoción del 44.02%. La laguna de maduración presenta una desviación estándar relativamente más baja que la laguna de maduración 2, por lo que se podría afirmar con certeza que, en base a los datos obtenidos, la laguna de maduración 1 es más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante de Fósforo Total que la laguna de maduración 2. Además, en la tabla se evidencia una descripción del comportamiento de la concentración del agua cruda de Fósforo Total, en donde se tiene una mediana que muestra que el 50% de las veces el agua cruda presenta una concentración de 4.66 mg/L y se tiene un percentil que muestra que el 99% de las ocasiones llega una concentración menor de 10 mg/L, que es el límite permisible para vertido, es decir, los operadores pueden dejar pasar esa agua residual que llega a la PTAR sin ningún tipo de tratamiento al cuerpo receptor el 99% de las ocasiones y no presentaría ningún tipo de contaminación y gasto adicional.

4.3.5 Sólidos Totales

La **figura 55** muestra la carga contaminante por Sólidos Totales del agua cruda (afluente) y la carga contaminante total (efluente).

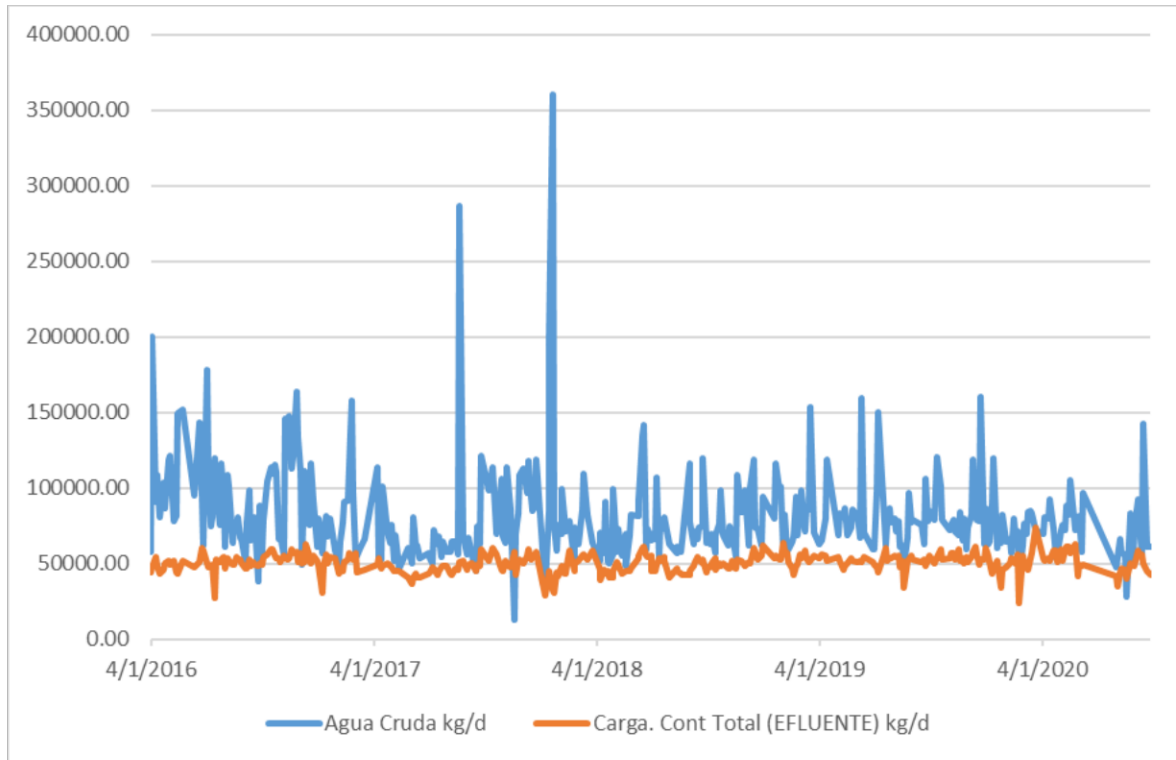


Figura 55: Carga Contaminante por Sólidos Totales - Agua Cruda (afluente) y Carga Contaminante Total (Efluente)

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Se evidencia una considerable remoción de la carga contaminante a pesar de que existen grandes picos grandes de contaminación, la planta aún genera una correcta remoción. La **figura 56** muestra el porcentaje de remoción total de la carga contaminante por Sólidos Totales de los años 2016 a junio del año 2020. La **tabla 36** muestra una estadística descriptiva del porcentaje de remoción de la carga contaminante por Sólidos Totales.

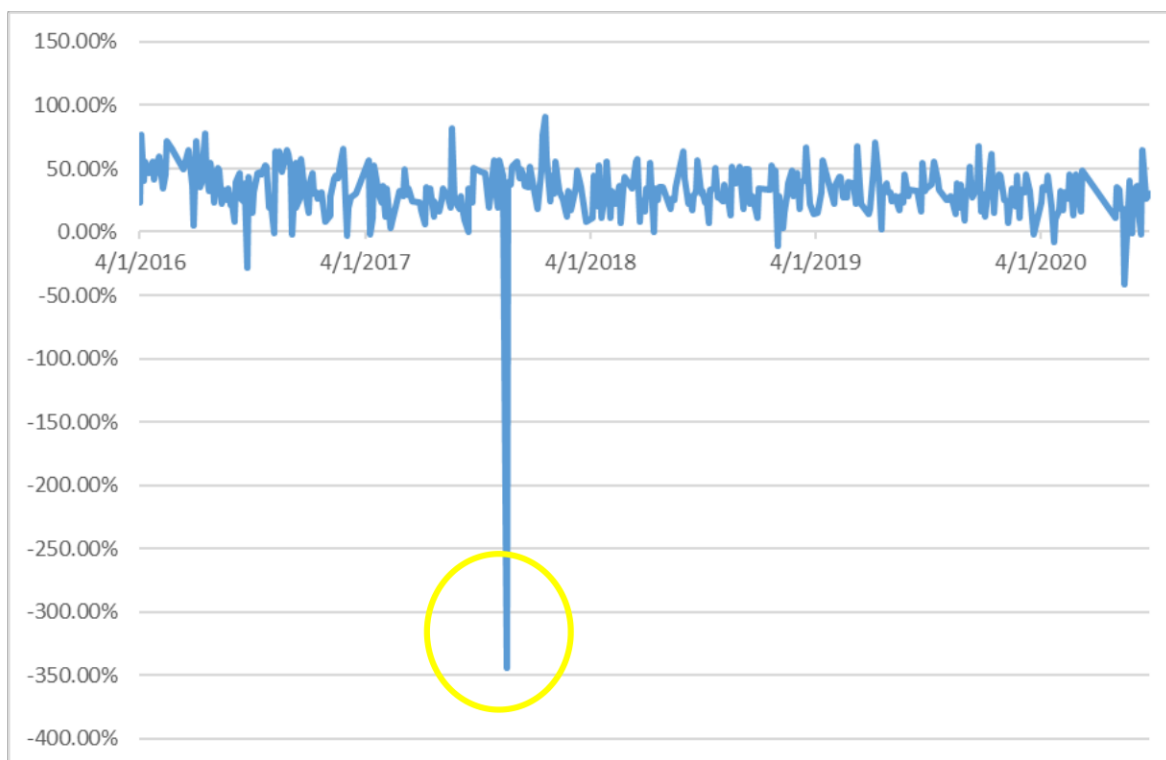


Figura 56: Porcentaje de remoción de la Carga Contaminante por Sólidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 36: Estadística Descriptiva - Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante por Sólidos Totales

	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 1	Porcentaje de Remoción - Laguna de Maduración 2	Porcentaje de Remoción Total
Máximo	96.03%	96.70%	91.16%
Media	33.19%	30.70%	32.12%
Mínimo	-364.71%	-318.63%	-344.86%
Desviación Estándar	27.17%	26.04%	26.34%
Coefficiente de Variación	81.84%	84.81%	82.02%

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La estadística descriptiva muestra una remoción promedio de Sólidos Totales del 32.12%. La desviación estándar es de 26.06%, es decir, una desviación cercana a su media, es decir, los datos se encuentran poco dispersos, indicando que la mayoría de los porcentajes de remoción oscilan entre 32.12% de eficiencia de remoción. En el mes de agosto del año 2017 existió un mínimo de -344.86% de remoción de Sólidos Totales. Esto significa que, durante el tratamiento de Sólidos Totales, el 21 de agosto de 2017 existió un aumento de la carga contaminante; ingresó 102 mg/L y después del tratamiento la laguna de maduración 1 vertió 474 mg/L y la laguna de maduración 2 vertió 427 mg/L. Este caso en específico genera una alteración en el porcentaje promedio de remoción, por lo que se puede tomar como un dato atípico.

La **figura 57** muestra una comparación del porcentaje de remoción de las lagunas de maduración 1 y 2 por Sólidos Totales. La **tabla 37** muestra una estadística descriptiva de la concentración del agua cruda por Sólidos Totales.

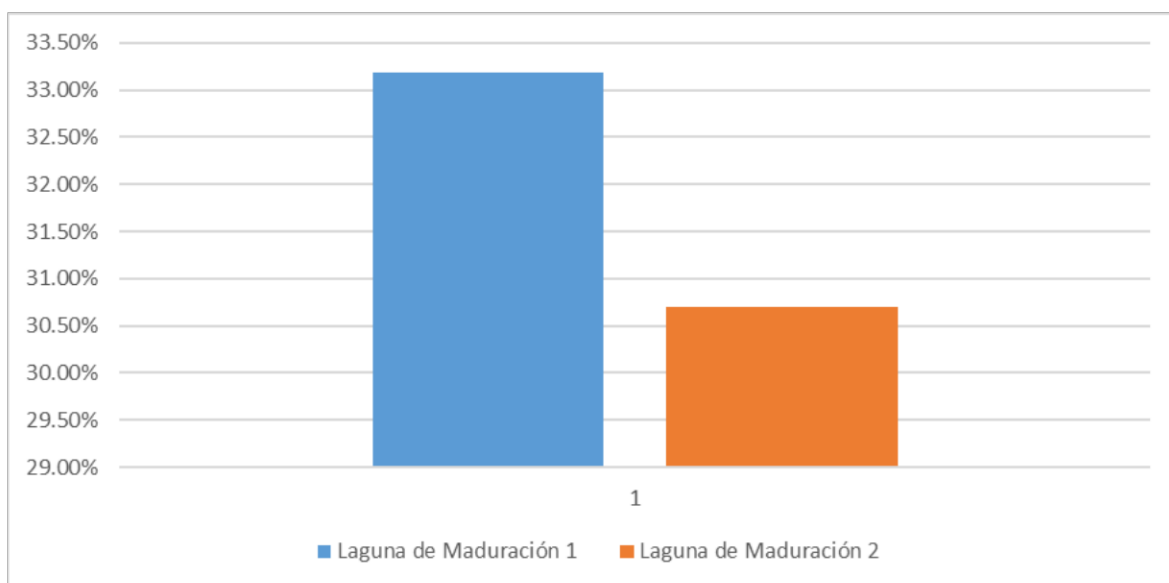


Figura 57: Comparación del porcentaje de remoción de Lagunas de Maduración 1 y 2 por Sólidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

Tabla 37: Estadística Descriptiva - Concentración Agua Cruda Sólidos Totales

	Concentración Agua Cruda
Mediana	500.00
Q1 = 25%	424.00
Q3 = 75%	603.00
Probabilidad al 95%	915.20
Percentil 99%	1195.52

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La laguna de maduración 1 presenta un porcentaje de remoción del 33.19% a comparación de la laguna de maduración 2 que presenta un porcentaje de remoción del 30.70%. A pesar de que la laguna de maduración 1 presenta una desviación estándar relativamente más alta que la laguna de maduración 2, se podría afirmar con certeza que, en base a los datos obtenidos, la laguna de maduración 1 es más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante de Sólidos Totales que la laguna de maduración 2. Además, en la tabla se evidencia una descripción del comportamiento de la concentración del agua cruda de Sólidos Totales, en donde se tiene una mediana que muestra que el 50% de las veces el agua cruda presenta una concentración de 500 mg/L y se tiene un percentil que muestra que el 99% de las ocasiones llega una concentración menor de 1600 mg/L, que es el límite permisible para vertido, es decir, los operadores pueden dejar pasar esa agua

residual que llega a la PTAR sin ningún tipo de tratamiento al cuerpo receptor el 99% de las ocasiones y no presentaría ningún tipo de contaminación y gasto adicional.

4.4 Probabilidad de cumplimiento

4.4.1 DBO₅

Las **figuras 57 y 58** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de la DBO₅, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

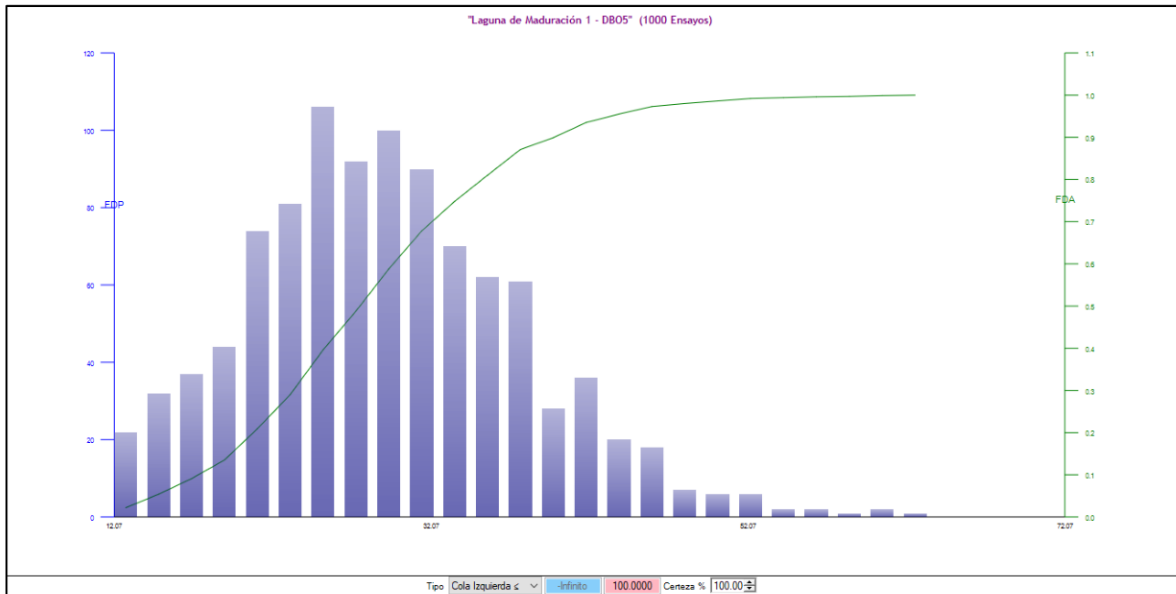


Figura 58: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 DBO₅

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

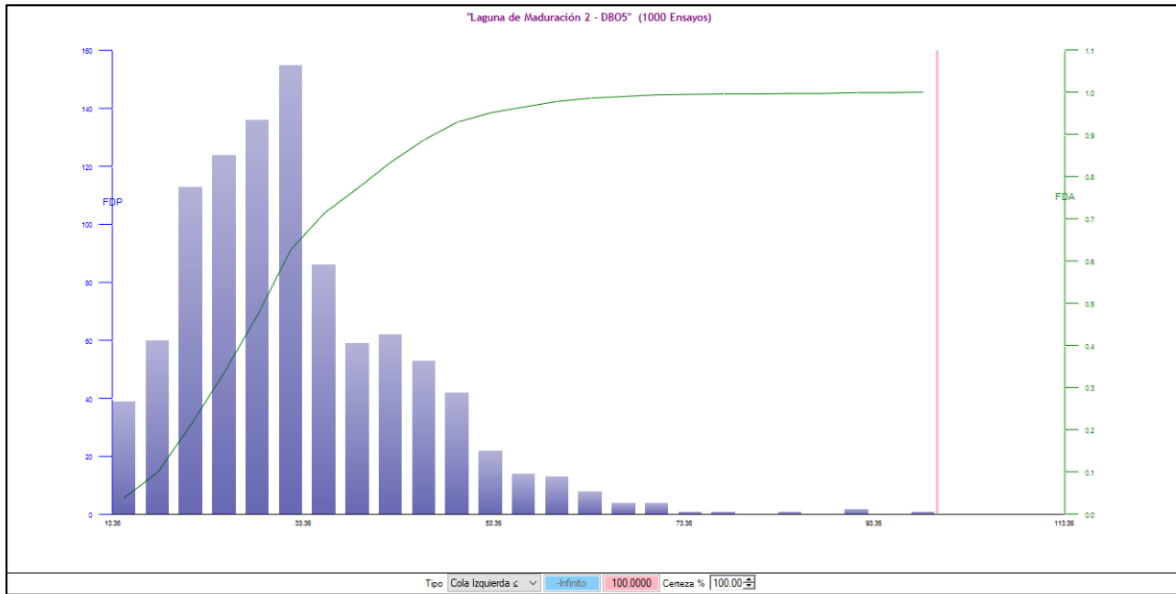


Figura 59: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 DBO₅

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de la BDO₅ en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en las lagunas de maduración 1 y 2 poseen un rango de certeza del 100% de cumplimiento de la norma ambiental de 100 mg/L. Ambas lagunas cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.2 DQO

Las **figuras 60 y 61** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de la DQO, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

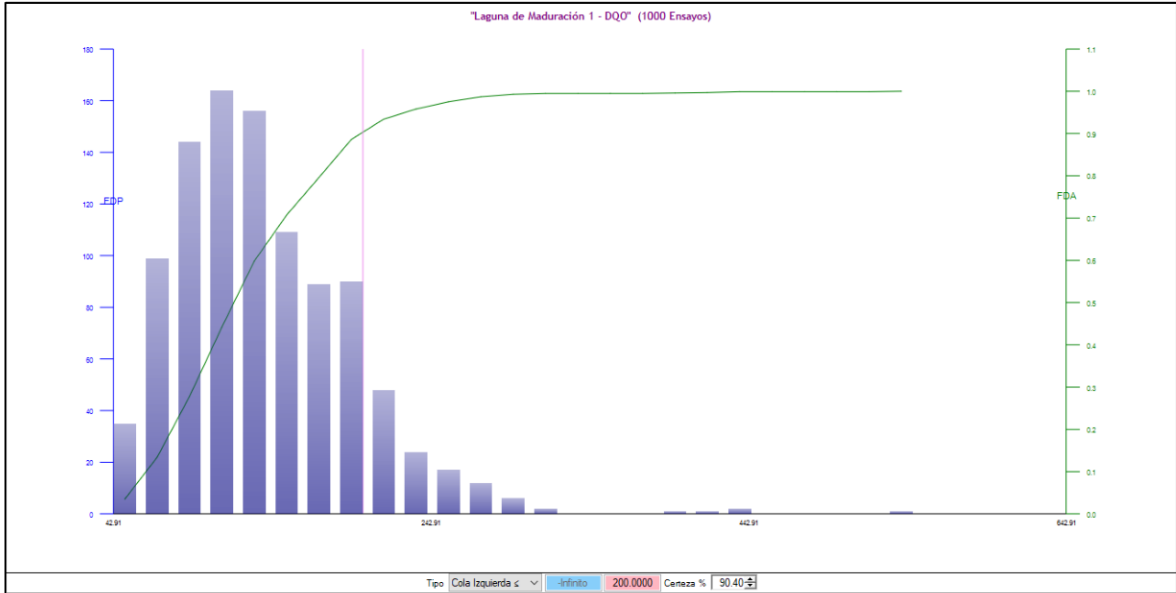


Figura 60: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

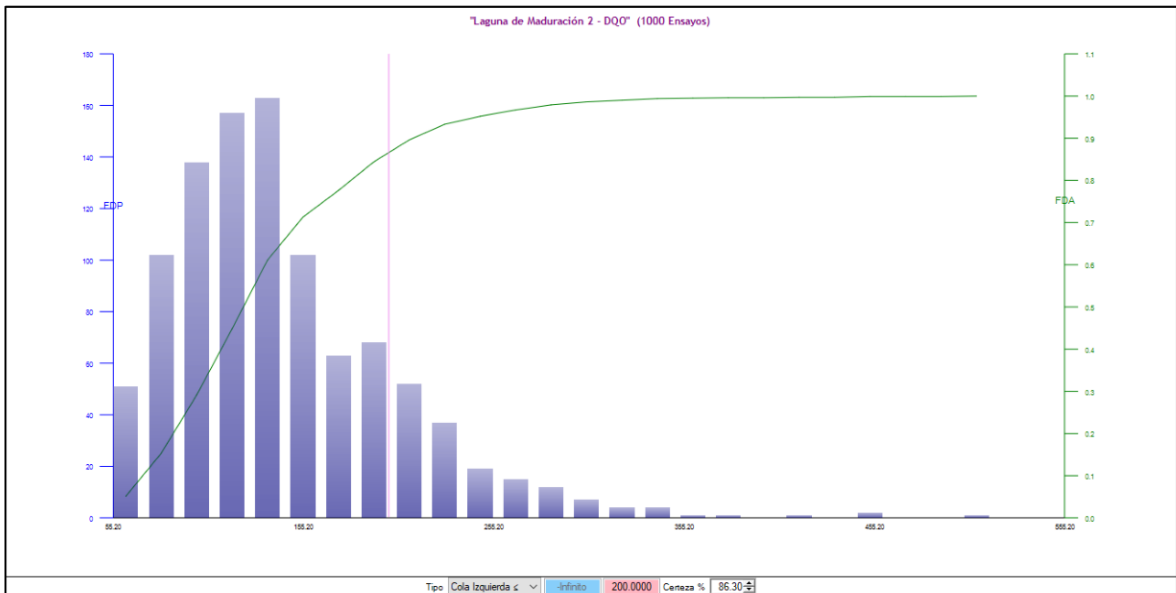


Figura 61: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 DQO

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de la DQO en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, se evidencia que la laguna de maduración 1 tiene un rango de certeza del 90.40% de cumplir con la norma y la laguna de maduración 2 posee un rango de

certeza del 86.30% de cumplir con la norma de 200 mg/L, es decir, la laguna de maduración 1 posee una probabilidad del 9.60% de incumplimiento de la normativa al igual que la laguna de maduración 2 con una probabilidad del 13.70%. Ambas lagunas no cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.3 Fósforo Total

Las **figuras 62 y 63** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda del Fósforo Total, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

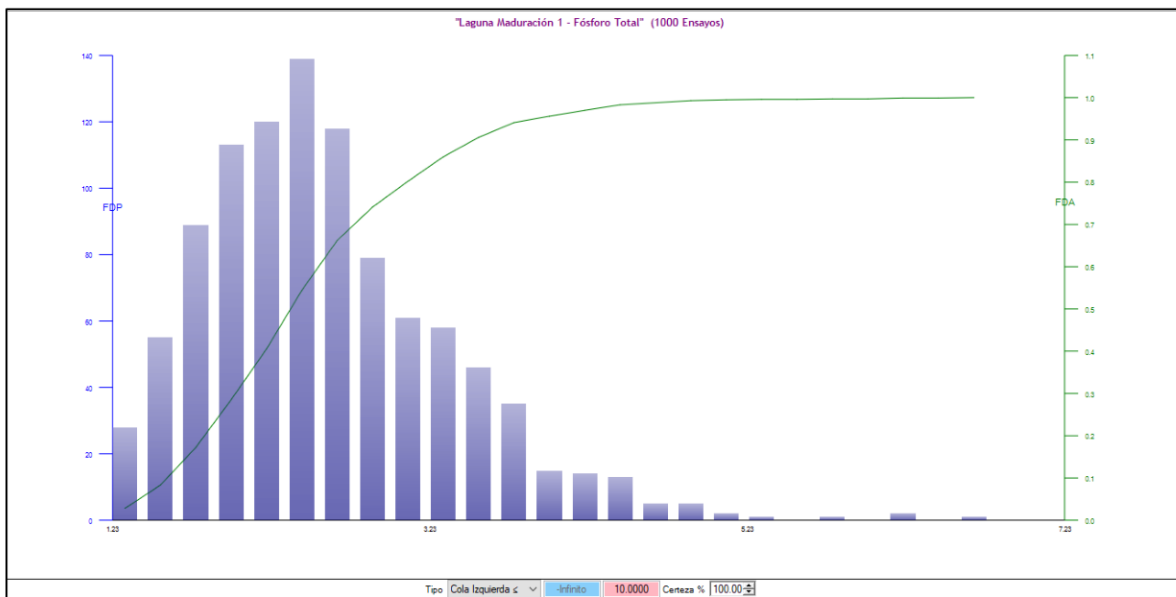


Figura 62: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Fósforo Total

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

4.4.4 Nitrógeno Total Kjeldahl

Las **figuras 64 y 65** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda del Nitrógeno Total Kjeldahl, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

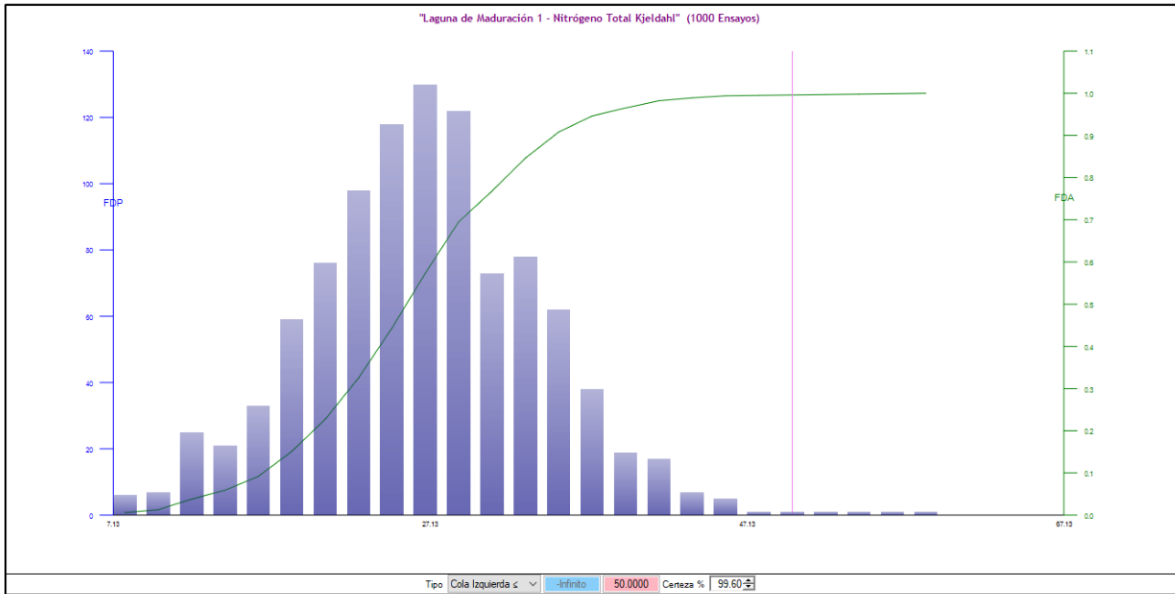


Figura 64: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

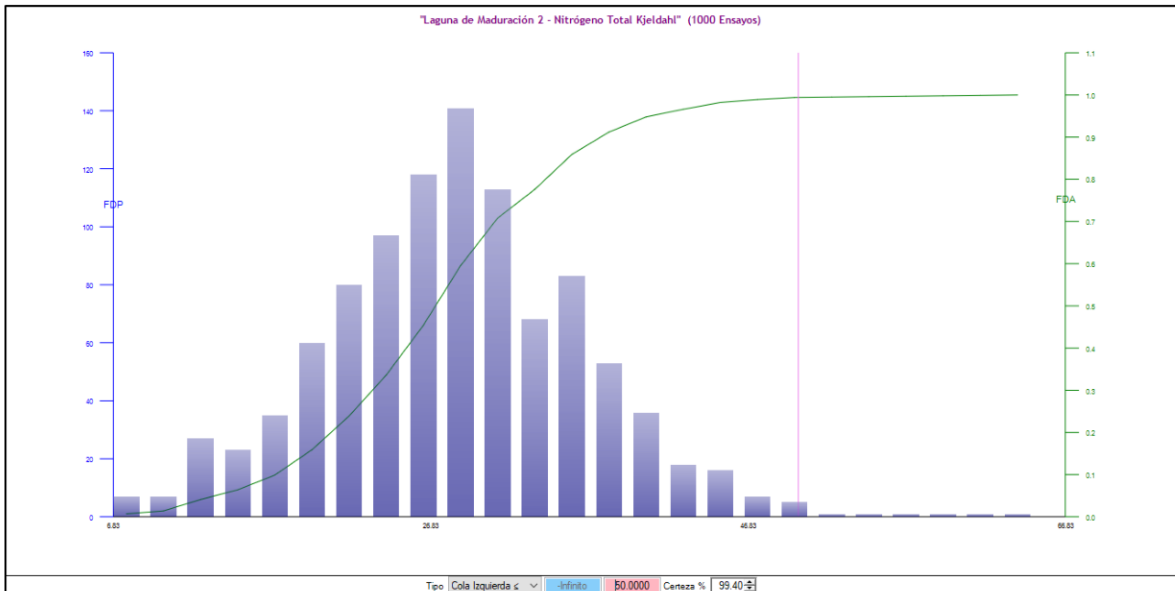


Figura 65: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Nitrógeno Total Kjeldahl

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento del Nitrógeno Total Kjeldahl en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en las lagunas de maduración 1 y 2 poseen un rango de certeza del 99.60% y el 99.40% de cumplimiento respectivamente de la norma ambiental de 50 mg/L. Ambas lagunas cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.5 Sólidos Sedimentables

La **figura 66** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de los Sólidos Sedimentables, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

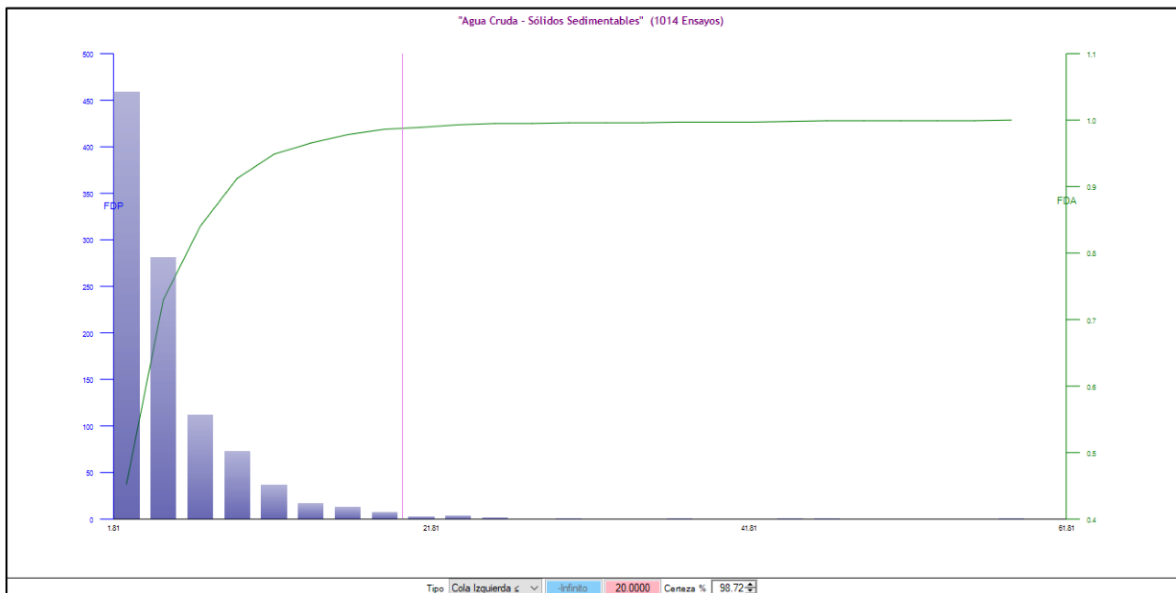


Figura 66: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Agua Cruda Sólidos Sedimentables
Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de los Sólidos Sedimentables en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en el agua cruda posee un rango de certeza del 98.72% de cumplimiento de la norma ambiental de 20 mg/L. Cumple con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.6 Sólidos Suspendidos Totales

Las **figuras 67 y 68** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de los Sólidos Suspendidos Totales, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

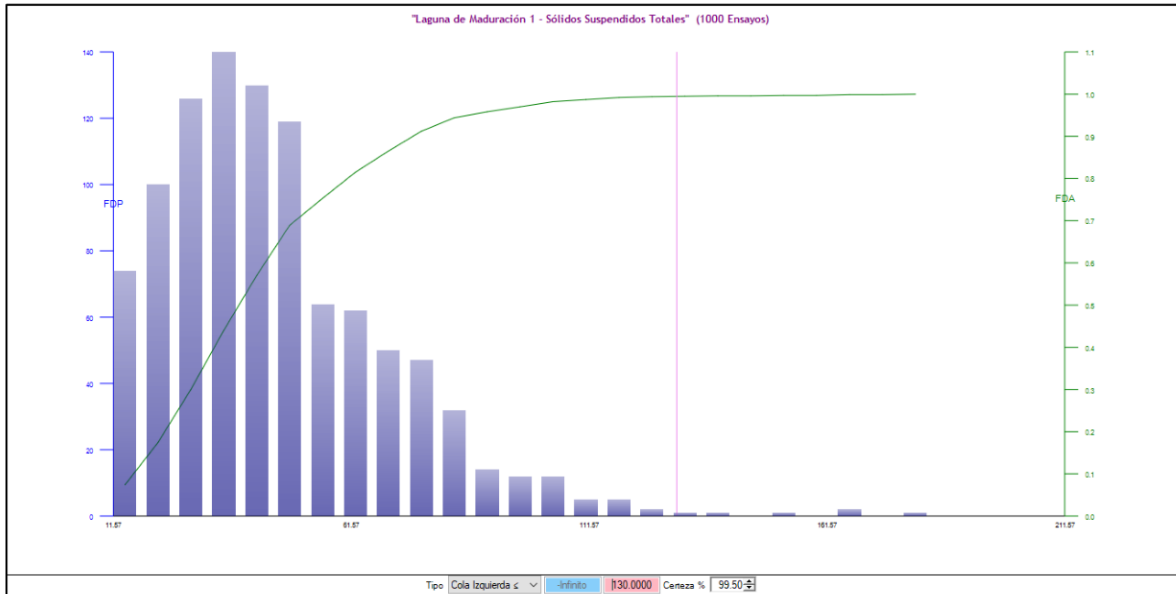


Figura 67: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sólidos Suspendidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

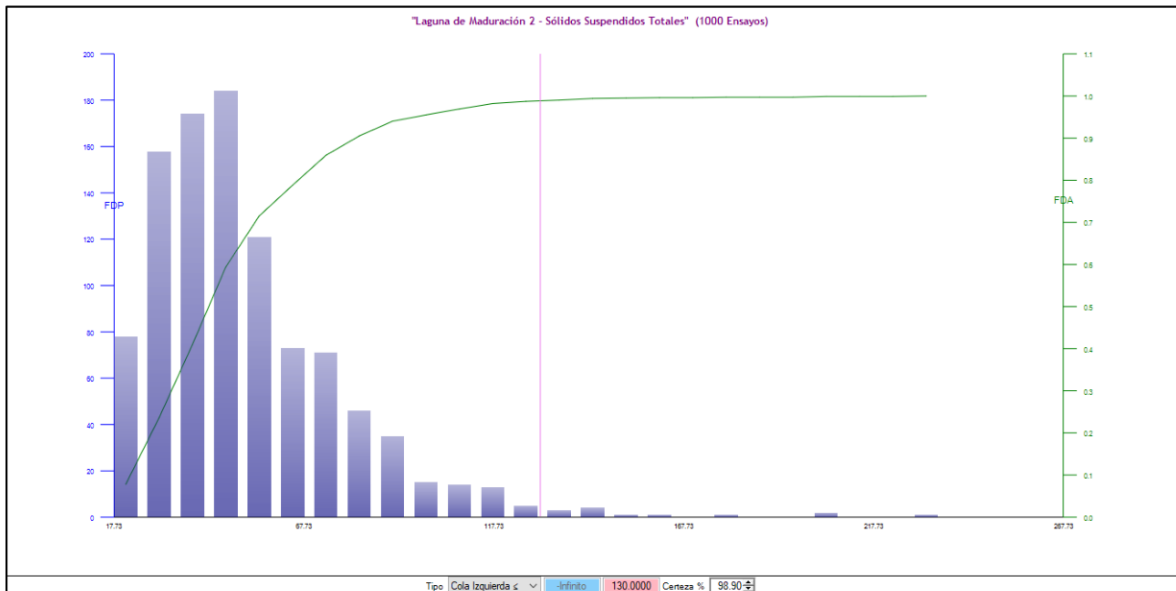


Figura 68: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sólidos Suspendidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de los Sólidos Suspendidos Totales en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en las lagunas de maduración 1 y 2 poseen un rango de certeza del 99.50% y el 98.90% de cumplimiento respectivamente de la norma ambiental de 130 mg/L. Ambas lagunas cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.7 Sólidos Totales

Las **figuras 69 y 70** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de los Sólidos Totales, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

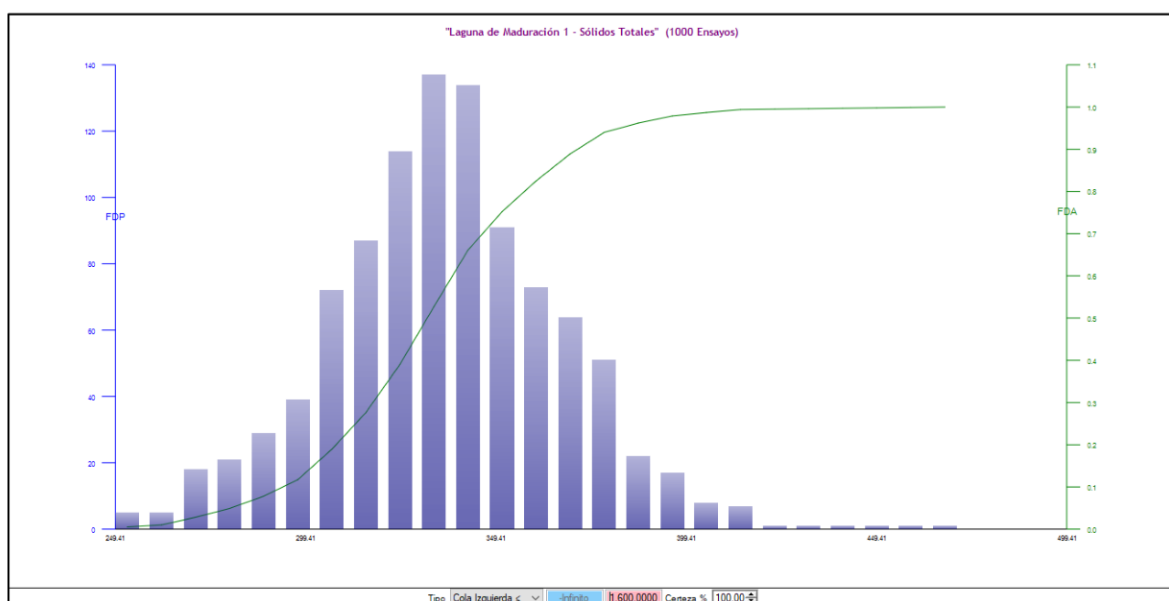


Figura 69: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sólidos Totales
Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Propia

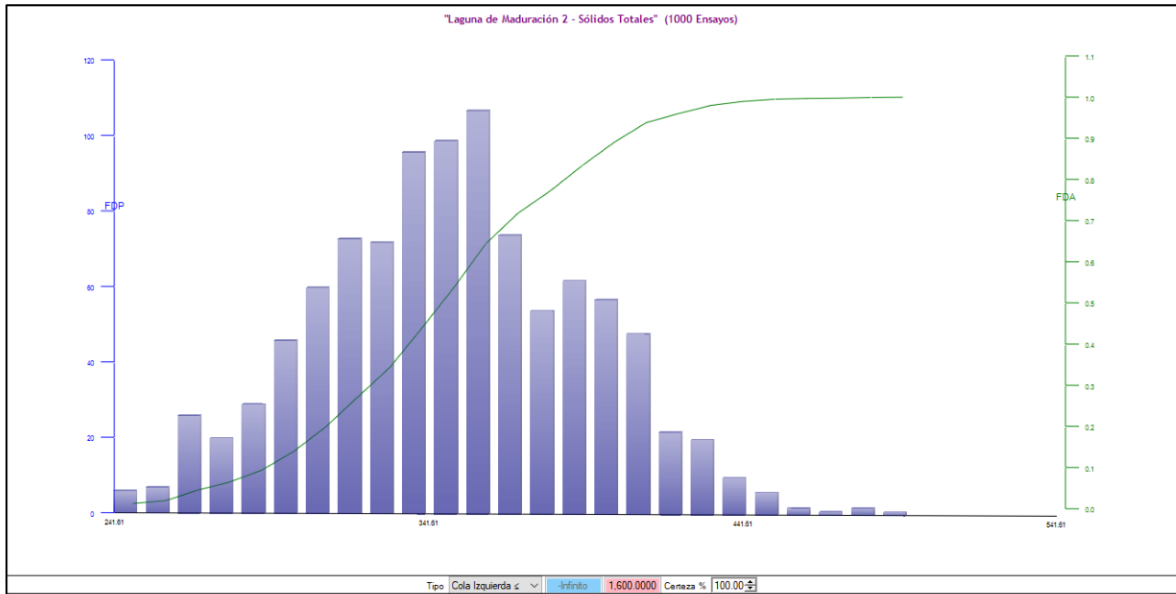


Figura 70: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sólidos Totales

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de los Sólidos Totales en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en las lagunas de maduración 1 y 2 poseen un rango de certeza del 100% de cumplimiento de la norma ambiental de 1600 mg/L. Ambas lagunas cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.8 Sulfuros

Las **figuras 71 y 72** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de los Sulfuros, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

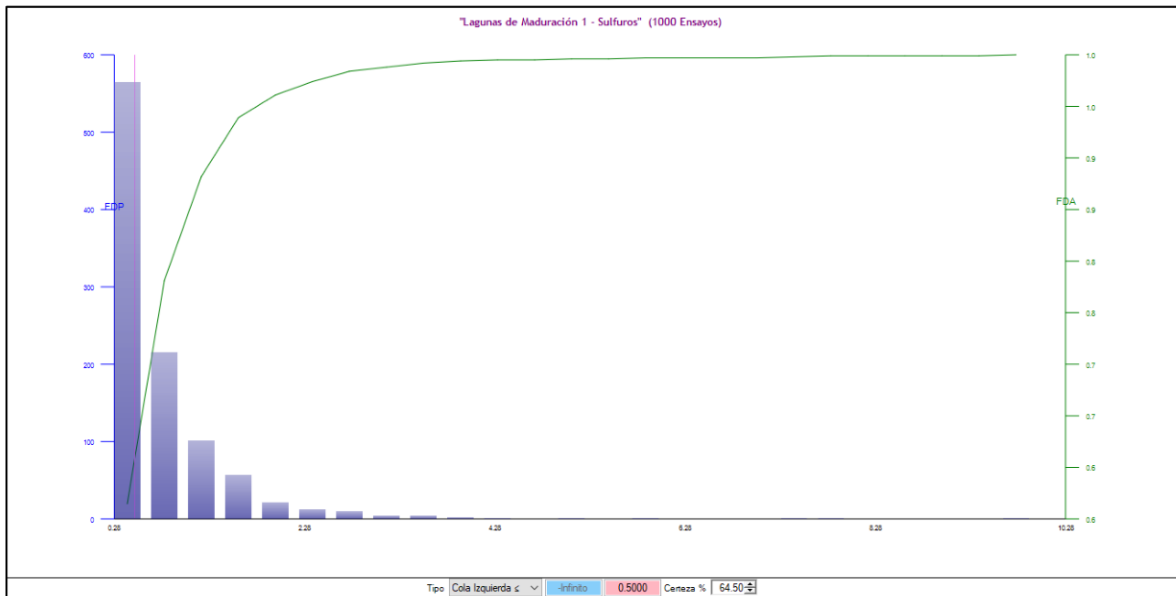


Figura 71: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Sulfuros

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

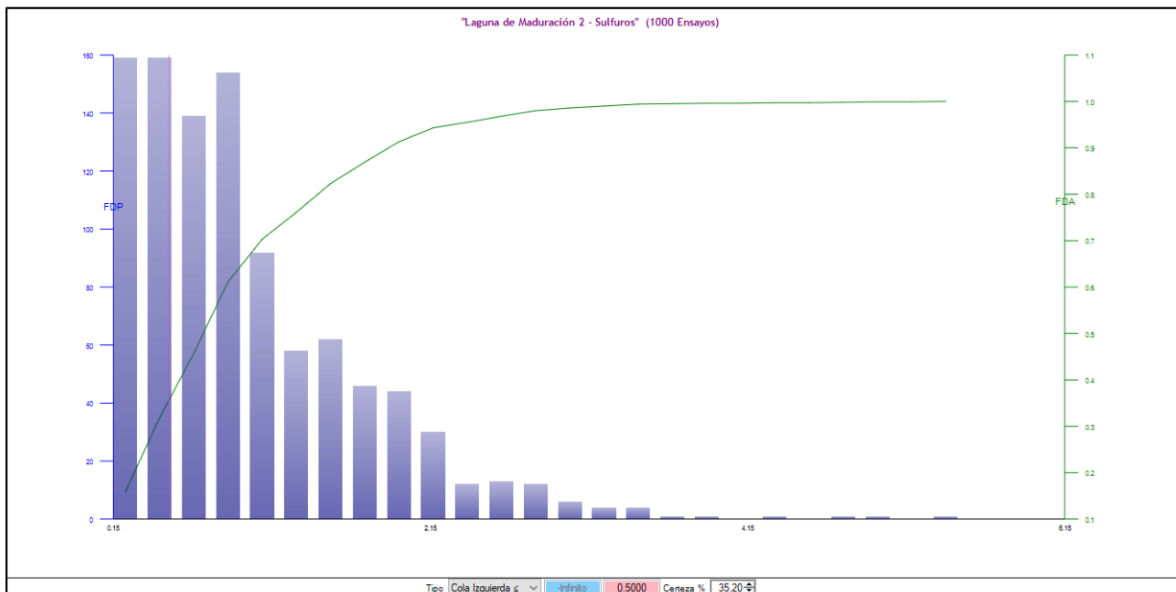


Figura 72: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Sulfuros

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de los Sulfuros en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, se evidencia que la laguna de maduración 1 tiene un rango de certeza del 64.50% de cumplir con la norma y la laguna de maduración 2 posee un rango de certeza del 35.20% de cumplir con la norma de 0.5 mg/L, es decir, la laguna de maduración 1 posee una probabilidad del 35.5% de incumplimiento de la normativa al igual que la laguna de maduración 2 con una probabilidad del 64.80%. Por mucho, ambas lagunas no cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

4.4.9 Aceites y Grasas

Las **figuras 73 y 74** muestran la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua cruda de los Aceites y Grasas, generadas con 1000 escenarios posibles mediante el software especializado *Risk Simulator*.

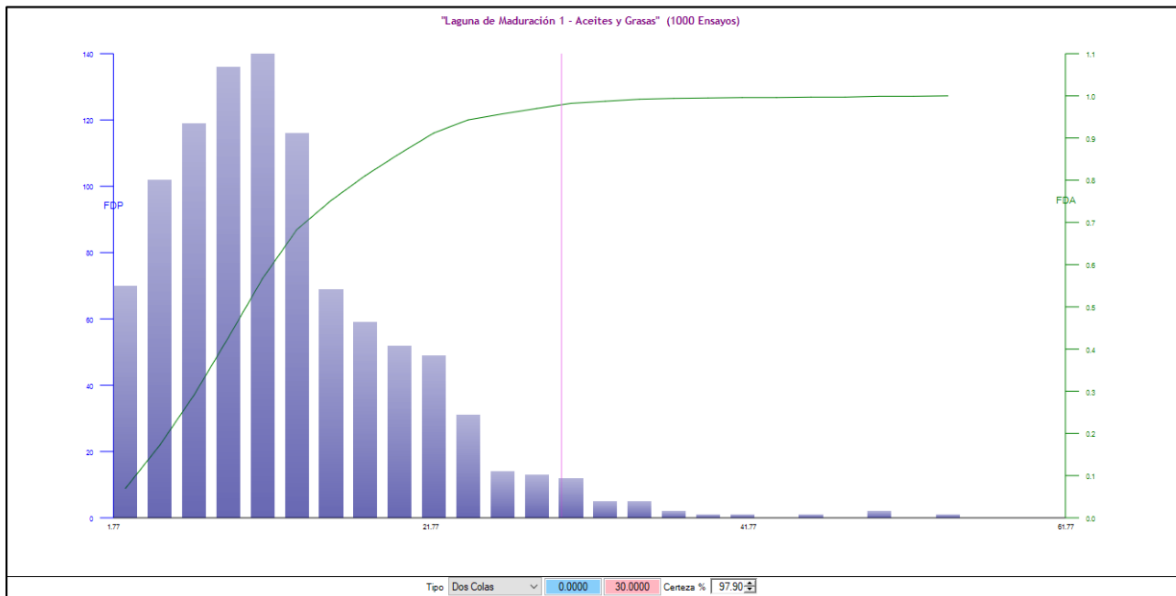


Figura 73: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 1 Aceites y Grasas

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

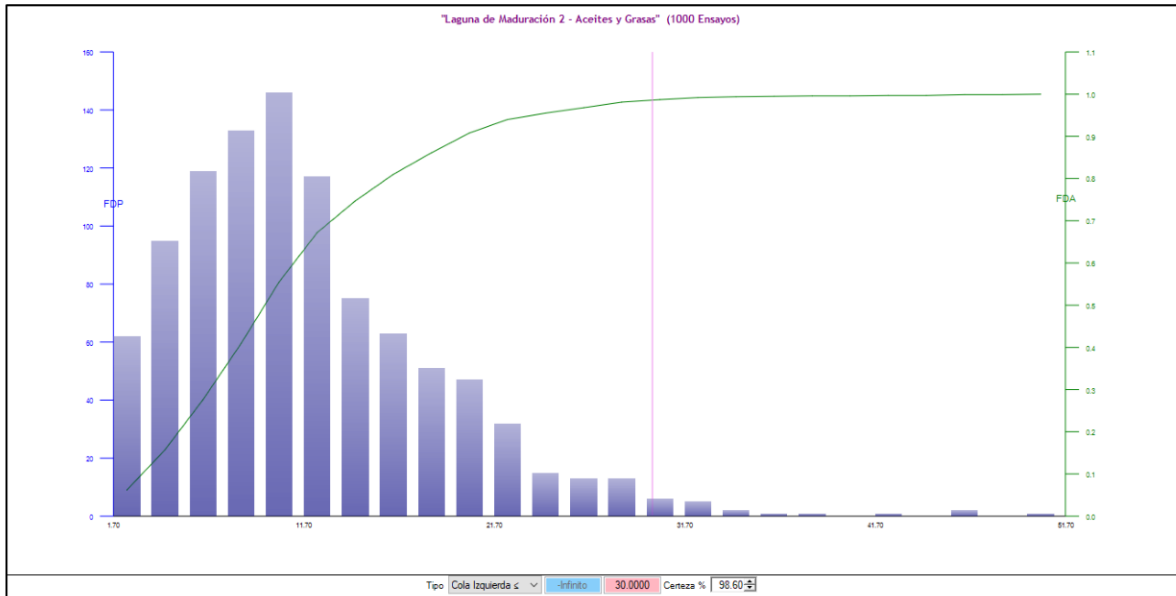


Figura 74: Probabilidad de Cumplimiento de la Norma - Laguna de Maduración 2 Aceites y Grasas

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Propia

La probabilidad de cumplimiento de los Aceites y Grasas en base a los datos históricos y proyecciones realizadas por el método de Montecarlo, en las lagunas de maduración 1 y 2 poseen un rango de certeza del 97.50% y el 98.60% de cumplimiento respectivamente de la norma ambiental de 30 mg/L. Ambas lagunas cumplen con la tolerancia máxima del 5% de incumplimiento de la normativa ambiental vigente en la PTAR de Ucubamba.

A continuación, en la **tabla 38** se presenta un cuadro resumen de la probabilidad de cumplimiento para cada parámetro de contaminación medido por la PTAR de Ucubamba.

Tabla 38: Resumen probabilidad de cumplimiento por parámetro

Parámetro	Límite permisible	Cumplimiento
BDO ₅	250 mg/l	Cumple
DQO	500 mg/l	Incumple
Fósforo Total	15 mg/l	Cumple
Nitrógeno Total	60 mg/l	Cumple
pH	6 - 9'	Cumple
Sólidos Sedimentables	20 mg/l	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	130 mg/l	Cumple
Sólidos Totales	1600 mg/l	Cumple
Sulfatos	1000 mg/l	Cumple
Sulfuros	0.5 mg/l	Incumple
Aceites y Grasas	30 mg/L	Cumple

Elaboración: Propia

4.5 Proceso analítico de estimación del cumplimiento de la normativa

En base a los resultados obtenidos de todo el proceso realizado en este trabajo de titulación de grado, se plantean los siguientes pasos a seguir como recomendación para un proceso analítico para el control y monitoreo constante del cumplimiento de la normativa ambiental aplicable a los parámetros de contaminación generados para cualquier tecnología empleada en una planta de tratamiento de aguas residuales.

1. **Recolección de datos:** La recolección de datos es fundamental para realizar un análisis estadístico, creando una base sólida en donde se respaldan los resultados obtenidos y los argumentos presentados en la observación del comportamiento y funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Es importante que los datos recolectados sean fiables y generados de una manera constante para evitar análisis erróneos. Una mayor cantidad de datos generan resultados más exactos.
2. **Análisis estadístico:** La estadística descriptiva permite resumir y describir los datos recolectados previamente. Se describen los datos mediante medidas estadísticas, como mediana, media, desviación estándar, coeficiente de variación, percentiles, entre otros. Se pueden emplear procesos estadísticos más complejos para una mayor observación del comportamiento de los datos. En este paso la interpretación y el análisis de datos es fundamental para saber con precisión lo que está ocurriendo en la planta de tratamiento.
3. **Generación de escenarios:** La generación de escenarios posibles se puede realizar con cualquier software estadístico avanzado como *Risk Simulator*, *Crystal Ball*, entre otros; que facilitarán la generación de varios escenarios mediante el método de Monte Carlo, que ayudará a estimar la probabilidad de ocurrencia de cumplimiento o incumplimiento de la normativa ambiental con un rango de confianza del 95%.
4. **Alimentación de la base de datos:** Alimentar periódicamente la base de datos con información nueva y actualizada de los procesos que ocurren en la planta de tratamiento de aguas residuales genera que los resultados sean efectivos y en el caso de existir anomalías, sean corregidas inmediatamente. Este proceso debe realizarse de manera permanente durante toda la vida útil de la planta, con el fin de no esperar a las auditorías ambientales que se realizan en periodos de 3 años aproximadamente y así poder cumplir con los límites máximos permisibles de contaminación de los cuerpos hídricos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis estadístico histórico de los datos de caudal que ingresa a la PTAR de Ucubamba, se concluye que no existe ningún aumento de caudal en las mediciones que se consideren significativas para la planta debido a que sus datos se encuentran muy compactos con respecto a su media. No se encontró ninguna tendencia que afirme que el caudal aumente considerablemente con el paso de los años, por lo que la PTAR de Ucubamba puede seguir operando con normalidad hasta su vida útil planeada en el diseño.
- Se ha observado una "Alta Intensidad" en la relación DQO/DBO₅ del agua cruda que llega a la PTAR de Ucubamba. Estos valores elevados sugieren que las aguas residuales procedentes de la ciudad de Cuenca tienen un componente industrial predominante, lo que implica una descarga más significativa de desechos industriales en comparación con el sector residencial.
- De acuerdo con la construcción del espectro de escenarios posibles de concentración del afluente y efluente de la PTAR de Ucubamba registrado en el periodo del año 2016 a junio del año 2020. Con un análisis histórico de las series estandarizadas, se concluyó que las lagunas de oxidación presentan una efectiva remoción de la contaminación de los siguientes contaminantes: DBO₅, Fósforo Total, pH, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Sulfatos y Coliformes Totales. Puesto que, el tratamiento de las lagunas de oxidación es efectivo en la eliminación de contaminantes orgánicos biodegradables por la presencia de microorganismos que descomponen y metabolizan la materia orgánica. Además, los grandes tiempos de retención de las lagunas ayudan en la eliminación de todo tipo de sólidos que llegan a la planta presentes en el agua residual, mediante procesos como la decantación en los arenadores de la PTAR de Ucubamba. Y una correcta eliminación de virus y bacterias, se produce de una manera muy efectiva en las lagunas de maduración.

La PTAR presenta poca eficiencia o problemas con el cumplimiento de los límites permisibles de vertido después de su tratamiento en los siguientes contaminantes:

- DQO: Según el análisis histórico de datos, la contaminación en el agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento es alta, sin embargo, la DQO no es tratada eficientemente y se está vertiendo al río Cuenca una concentración que sobrepasa los límites permisibles de 200 mg/L. Pueden existir muchas causas por las que está ocurriendo este suceso, tales como: la falta de control en los procesos y las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos que ayudan en su descomposición.
- Nitrógeno Total Kjeldahl: Según el análisis histórico de datos, a pesar de que el nitrógeno que ingresa en el agua cruda a la PTAR no sobrepasa los límites permisibles de vertido, después de su tratamiento el nitrógeno aumenta. Esto puede darse debido a que el tratamiento en las lagunas de oxidación de Ucubamba no presenta procesos

adicionales para su eliminación, tales como un reactor biológico o procesos de nitrificación – desnitrificación.

- Sulfuros: Según el análisis histórico de datos, llega una alta concentración de sulfuros en el agua cruda a la PTAR sobrepasando los límites de vertido en el alcantarillado público, pero su tratamiento es poco efectivo ya que en muchas ocasiones la planta verte una alta concentración al río Cuenca. Esto puede darse por muchas razones, una de ellas puede ser una mala separación de las zonas aerobias y anaeróbicas en el diseño de la planta o la planta está teniendo un problema en el sistema de aireación.
- Aceites y Grasas: Según el análisis histórico de datos, en algunas ocasiones llega a la planta una alta concentración de Aceites y Grasas, estos picos de contaminación se dan por procesos industriales que no se encuentran controlados, por lo que se debe tener más control al momento de presentar estas irregularidades. Además, en ocasiones después de su tratamiento presentan picos altos de contaminación que es vertida al río Cuenca. Esto puede darse por que el tratamiento por lagunas de oxidación no posee tecnologías específicas para el tratamiento de este contaminante como coagulación – floculación.
- De acuerdo con la construcción del espectro de escenarios posibles de carga contaminante del efluente de la PTAR de Ucubamba registrado en el periodo del año 2016 a junio del año 2020. Se concluyó que la remoción de la carga contaminante de DBO₅ y Fósforo Total en la PTAR de Ucubamba muestra una alta efectividad, con porcentajes de remoción del 72% y 45% respectivamente. Estos valores se basan en el hecho de que en el 40% y 99% de las ocasiones, la carga contaminante de DBO₅ y Fósforo Total que llega a la PTAR se mantiene dentro de los límites permisibles de vertido. Por lo tanto, se concluye que las lagunas de oxidación son efectivas en la remoción de la carga contaminante de estos parámetros. En el caso de la carga contaminante de DQO, se ha observado un porcentaje relativamente bajo de efectividad del 57%, con mínimos de eficiencia que llegan al 0% de remoción de carga contaminante. Además, se ha registrado que en el 30% de las ocasiones, la carga contaminante del agua cruda que llega a la PTAR no supera los límites permisibles de vertido, lo que indica que puede ser liberada sin necesidad de ningún tratamiento adicional al río Cuenca.
Por otro lado, la remoción de la carga contaminante de Nitrógeno Total Kjeldahl presenta un porcentaje bajo de efectividad del -16%. Esto sugiere que el tratamiento mediante lagunas de oxidación en la PTAR de Ucubamba incrementa los niveles de nitrógeno en el agua, en lugar de removerlo.
En cuanto a la remoción de la carga contaminante de Sólidos Totales, se ha observado un porcentaje alto de efectividad del 32%, considerando que en el 99% de las ocasiones la carga contaminante que llega a la PTAR se mantiene dentro de los límites permisibles de vertido. Por lo tanto, se concluye que las lagunas de oxidación son eficientes en la remoción de la carga contaminante de Sólidos Totales.

Además, los análisis estadísticos realizados para cada laguna de maduración indican que la laguna de maduración 1 es más eficiente que la laguna de maduración 2 en términos de remoción de la carga contaminante. En todos los contaminantes analizados (DBO₅, DQO, Fósforo Total, Nitrógeno Total Kjeldahl y Sólidos Totales), la laguna de maduración 1 ha mostrado un porcentaje de eficiencia superior.

- De acuerdo con la estimación de la probabilidad de cumplimiento de las normas de la calidad ambiental del efluente de la PTAR de Ucubamba, con un rango de tolerancia del 5%, se identificaron los siguientes contaminantes que, según datos proyectados a futuro en ambas lagunas de maduración mediante el software avanzado Risk Simulator, presentan una alta probabilidad de cumplir con los límites permisibles (con un rango de certeza del 95%): DBO₅, Fósforo Total, Nitrógeno Total Kjeldahl, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Aceites y Grasas.

Por otro lado, se encontró que la DQO tiene una probabilidad de cumplimiento de los límites permisibles del 90% en la laguna de maduración 1 y del 86% en la laguna de maduración 2. En cuanto a los Sulfuros, presentaron una probabilidad de cumplimiento de los límites permisibles del 65% en la laguna de maduración 1 y del 35% en la laguna de maduración 2.

En conclusión, la PTAR de Ucubamba muestra una proyección de cumplimiento superior al 95% en la mayoría de los contaminantes analizados. Sin embargo, es necesario tener en consideración los niveles de DQO y Sulfuros, ya que presentan una probabilidad de incumplimiento significativa.

- En función de los registros históricos, carga contaminante y proyección a futuro de la contaminación de la PTAR de Ucubamba, se concluye que el proceso analítico optado para este trabajo de titulación se pueda usar como base para análisis futuros estadísticos, ayudando en el correcto funcionamiento, control y monitoreo de diferentes plantas de tratamiento, incluso como base para el diseño, construcción y la operación y mantenimiento de futuras plantas de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

De los resultados y conclusiones obtenidos en la presente investigación se establecen las siguientes recomendaciones:

- Implementar acciones correctivas dentro del funcionamiento de la PTAR de Ucubamba con respecto al tratamiento de la DQO y los Sulfuros. Estas medidas son necesarias debido que tienen una alta probabilidad de incumplimiento de la norma que podrían estar afectando a los derechos de la naturaleza.
- Es importante reconocer que el tratamiento utilizado en la PTAR de Ucubamba resulta en un aumento significativo de la concentración de Nitrógeno. Se deben tomar las medidas necesarias para abordar esta situación.
- Mantener la base de datos actualizada de forma constante después de cada toma de muestra mensual. Realizar los cálculos necesarios para un análisis preciso de las medidas de tendencia central, así como actualizar las gráficas correspondientes. Todo este proceso para recalibrar la probabilidad de cumplimiento de la norma en base a los límites permisibles de vertido
- Realizar un análisis comparativo con respecto a los análisis previos y evaluar la eficiencia actual de la PTAR de Ucubamba. Determinar si la eficiencia ha disminuido o se ha mantenido a lo largo del tiempo. Esto permitirá tomar medidas correctivas inmediatas con el fin de asegurar el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.
- Emplear este procedimiento en plantas de tratamiento con tecnologías iguales o diferentes, implementando mejoras para ayudar en la precisión de este proceso analítico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador, J., & Gaitan, M. (2007). *SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA*. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sulfuro+en+agua+por+volumetria.pdf/769f14b4-55fc-4107-beb6-de229e33ea71#:~:text=El sulfuro se encuentra con,la reducci3n bacteriana del sulfato.>
- Agencia de Protecci3n Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2021). *Types of Drinking Water Contaminants*. <https://www.epa.gov/ccl/types-drinking-water-contaminants>
- Águila, L., Rejo, V., & Vieira, R. (2003). El Tratamiento De Aguas Industriales Contaminadas Con Sulfuros. *Residuos: Revista Técnica*, 64–71. <http://intacta.es/el-tratamiento-de-aguas-industriales-contaminadas-con-sulfuros/>
- Amaya, W. F., Cañ3n, Ó. A., & Avil3s, Ó. F. (2004). Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. In *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (Vol. 14, pp. 86–95). <https://doi.org/10.18359/rcin.1271>
- Aranda, N. (2004). *EUTROFIZACI3N Y CALIDAD DEL AGUA DE UNA ZONA COSTERA TROPICAL* [UNIVERSITAT DE BARCELONA]. <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35296/1/TESISNANCY.pdf>
- Ar3valo, J., Castro, A., & Villa, É. (2001). *ANALYSIS OF THE ECONOMIC CYCLE ON IMPERFECT COMPETITION* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/ecoins/article/view/220/3301>
- Audefroy, J. (2011). EL ALCANTARILLADO SANITARIO COMO MODELO GLOBAL DE CONSTRUCCI3N DE RIESGO LOCAL. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 11, 32–41. <https://core.ac.uk/download/pdf/296528095.pdf>
- Calderon, E. (2018). *Informe de visita t3cnica a la planta de tratamiento de aguas residuales "UCUBAMBA" en la ciudad de Cuenca*. 1–7. <https://es.scribd.com/document/370338547/PTAR-Ucubamba#>
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed).
- CAN. (2005). *Manual de Estadísticas Ambientales*.
- Cardona, J., & Garc3a, L. (2008). EVALUACI3N DEL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES SOBRE LA CALIDAD DE UN AGUA RESIDUAL DOM3STICA [Pontificia Universidad Javeriana]. In *Pontificia Universidad Javeriana, Facultad De Ciencias*. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8207/tesis204.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- COA. (2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Collazos, C. (2008). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES*. Universidad Nacional de Colombia.
- Constitucion de la Republica del Ecuador. (2008). *CONSTITUCI3N DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- EPN. (2019). *Manual de usuario para la descarga e instalaci3n de Risk Simulator 2020* (p. 23). http://servicios-it.epn.edu.ec/images/DGIP/Descargas/Manual_UsuariO_RISK2020.pdf
- ETAPA EP. (2007). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba*.
- ETAPA EP. (2021). *PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CUENCA*. <https://www.udla.edu.ec/saneamientoycambioclimatico/wp-content/uploads/2021/05/Presentacion-SARCC-Cuenca.pdf>

- Gamboa, M. (2018). *ESCALAS DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA* [Universidad de Las Tunas, Cuba]. <https://onx.la/02bab>
- García, M. (2014). *Biología y Geología*. December. <https://acortar.link/68ld2x>
- Guilcamaigua Anchatuña, D. X., Quintero Quiñonez, N., Jiménez Cercado, M. E., & Muñoz Naranjo, D. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. *3C Tecnología_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 8(3), 12–23. <https://doi.org/10.17993/3ctecnol/2019.v8n3e31.12-23>
- Herrera, C., & Cabezas, L. D. (2022). *El impacto ambiental en la contaminación del agua en el Ecuador*. IV, 78–107. <http://dx.doi.org/10.35381/i.p.v4i7.1865>
- Hidalgo, M., & Mejía, E. (2010). *Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado. municipio de Medellín* [Universidad de Antioqui]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguasResidualesDomesticas.pdf>
- INEC. (2010). *INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Junta de Andalucía. (2018). *Sistemas de indicadores ambientales de la red de información ambiental de Andalucía*. 1–8. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/411920/AGL01_2017.pdf
- Larañaga, C. (1976). *NORMA Oficial Mexicana. Determinación de Sólidos en Agua*. DGN.- AA-34-1976. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4845496&fecha=31/05/1976#gsc.tab=0
- Lecca Raffo, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 14, num 1, 71–80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- León, R., Pernía, B., Siguencia, R., Franco, S., Noboa, A., & Cornejo, X. (2018). Evaluation of the potential of aquatic plants to remove total coliforms and *Escherichia coli* from wastewater. *Enfoque UTE*, 4, 131–144. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- Minambiente. (2001). *Metodología para la evaluación aproximada de la Carga Contaminante*. 1–30.
- Ministerio de Ambiente - República de Colombia, & Rodríguez, C. (2007). DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA. *IDEAM*, 05, 1–11. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Ministerio de Turismo. (2019). *¿Por qué Cuenca es Patrimonio Cultural de la Humanidad?* <https://www.turismo.gob.ec/por-que-cuenca-es-patrimonio-cultural-de-la-humanidad/>
- Montes, D. (2018). *Métodos de Análisis Estadístico*. <https://www.pgconocimiento.com/metodos-de-analisis-estadistico/>
- Mugira, A. (2022). *Tipos de muestreo: Cuáles son y en qué consisten*. <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-muestreo-para-investigaciones-sociales/#conclusion>
- Mun, J. (2012). *Simulador de Riesgo: Manual de Usuario en Español*. <https://rovdnloads.com/attachments/rsmanual-spanish.pdf>
- Nuevo, D. (2022). *El tratamiento de fósforo en aguas residuales*. Tecpa. [https://www.tecpa.es/fosforo-aguas-residuales/#:~:text=La eliminación del fósforo de,microorganismos\) o en precipitados químicos.](https://www.tecpa.es/fosforo-aguas-residuales/#:~:text=La%20eliminaci3n%20del%20f3sforo%20de,microorganismos%20o%20en%20precipitados%20qu3micos.)

- OMS. (2022). *Saneamiento*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation#:~:text=En 2020%2C el 45%25 de,alimentos regados con aguas residuales>.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Osorio, P. (2017). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. [Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://n9.cl/zg5sf>
- Pereira, J. (1989). *Tratamiento Estadístico de las Series Cronológicas en el Antiguo Régimen*. Universidad de Extremadura.
- Quijada, T. C. (2021). *Estudio de los sólidos sedimentables de un agua*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/167430>
- Quirós, R. (2000). *La eutrofización de las aguas continentales de argentina* [Universidad de Buenos Aires]. <https://ced.agro.uba.ar/ubatic/sites/default/files/files/EutroArgentina.pdf>
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. (2019). Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. *Fielweb Evolución Jurídica*, 752(507), 1–192.
- Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. *De La Llave*, 1–4. papers://73c07e2e-9294-4a94-b11e-b804a5393384/Paper/p151
- Riquelme, C. (2016). *Los peces y la contaminación de los ríos*. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/los-peces-y-la-contaminacion-de-los-rios-1491551.html>
- Salda, P., & Technology, W. (2014). *Importancia de incluir análisis de toxicidad en descargas industriales y municipales que afectan a los cuerpos receptores*. November.
- Samboni, R., Escobar, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019
- Severiche, C., & Gonzáles, H. (2012). EVALUACIÓN ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS EN AGUAS POR MÉTODO TURBIDIMÉTRICO MODIFICADO. *USBMed*, 3, 6–11.
- Torres, C. (2006). *Procedimiento para la Medición de Sólidos Totales* [Universidad Tecnológica de Panamá]. <https://utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>
- TULSMA. (2018). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, 3399, 1–578.
- Villarreal, F. (2016). *Introducción a los Modelos de Pronósticos* [Universidad Nacional del Sur]. https://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9na Edició).
- Weather Spark. (2021). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cuenca, Ecuador*. <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-el-año>

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **JUAN JOSÉ IÑIGUEZ CASTILLO** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0105063622**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"DETERMINACIÓN DE UN PROCESO ANALÍTICO PARA COMPLEMENTAR EL CONTROL DE CALIDAD DEL EFLUENTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CASO PILOTO PTAR DE UCUBAMBA"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de julio de 2023



F:

Juan José Iñiguez Castillo

C.I. 0105063622