

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADOS



**TESIS DE GRADO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**INCIDENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA REGULARIZACIÓN
AMBIENTAL POR EFLUENTES INDUSTRIALES EN LA
CAPACIDAD PROYECTADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA.**

Autor:

Ing. Antonio Bermeo Pazmiño

Director:

Ing. Jaime Domínguez Durán

Cuenca, junio de 2014

DEDICATORIA:

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, que han sabido ser un pilar fundamental para mi desarrollo personal y profesional, gracias por sus consejos y enseñanzas. A Priscila, que ha sido mi compañera durante todos estos años, gracias por el apoyo incondicional brindado.

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres que me han apoyado para la consecución de este logro académico.

A Priscila, que ha estado junto a mí, compartiendo mis alegrías y tristezas, con su apoyo, paciencia y consejos,

Al Ing. Jaime Domínguez, gracias por la confianza y las enseñanzas brindadas, que ha sido un guía profesional en mi vida.

A los compañeros y profesores de la maestría, gracias por el tiempo invertido y los momentos compartidos.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 2 |
| 1.2.1 | Objetivo general | 2 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 | datos generales del sistema de tratamiento | 3 |
| 1.3.1 | Sistema de Alcantarillado..... | 3 |
| 1.3.2 | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba – PTAR Ucubamba – (ETAPA EP, 2008). | 3 |
| 1.3.3 | Parámetros de diseño | 5 |
| 2 | Marco teórico | 6 |
| 2.1 | Hipótesis planteadas..... | 6 |
| 2.1.1 | Clasificación de las aguas residuales. | 6 |
| 2.1.2 | Características de las aguas residuales..... | 7 |
| 2.1.3 | Producción de Agua Residual | 9 |
| 2.1.4 | Parámetros a analizar | 11 |
| 2.2 | metodología utilizada | 12 |
| 2.2.1 | Legislación consultada | 12 |
| 2.2.2 | Obtención de los datos de las aguas residuales..... | 13 |
| 2.2.3 | Carga contaminante | 16 |
| 2.2.4 | Ecuación de la continuidad y Balance de masas | 16 |
| 2.2.5 | Métodos estadísticos | 18 |
| 3 | DESARROLLO | 19 |
| 3.1 | Análisis de datos | 19 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1.1 | Aguas Residuales Domésticas | 19 |
| 3.1.2 | Aguas Residuales Industriales | 22 |
| 3.1.3 | Afluente de la PTAR de Ucubamba..... | 26 |
| 3.2 | Análisis estadístico..... | 28 |
| 3.2.1 | Aplicación del software Crystal Ball..... | 28 |
| 3.2.2 | Resultados obtenidos | 28 |
| 4 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES | 58 |
| 5 | BIBLIOGRAFÍA..... | 62 |
| 6 | ANEXOS:..... | 64 |

ÍNDICE DE GÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Área de influencia de la PTAR de Ucubamba | 20 |
| Gráfico 2. Área de interceptores | 20 |
| Gráfico 3. Comportamiento del caudal de entrada a la PTAR de Ucubamba..... | 27 |
| Gráfico 4. Carga Contaminante DBO ingreso PTAR de Ucubamba. | 27 |
| Gráfico 5. Caudal Promedio PTAR de Ucubamba..... | 29 |
| Gráfico 6. Caudal doméstico Promedio Anual | 29 |
| Gráfico 7. Caudal Industrial promedio Anual..... | 30 |
| Gráfico 8. Caudal Promedio anual Industrias de bajo impacto..... | 31 |
| Gráfico 9. Caudal promedio anual Industrias de medio impacto. | 31 |
| Gráfico 10. Caudal Promedio Anual Industrias de alto impacto | 32 |
| Gráfico 11. Caudal Promedio Anual de Servicios. | 33 |
| Gráfico 12. Concentración SS Industrias de bajo impacto..... | 33 |
| Gráfico 13. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS de industrias de bajo impacto..... | 34 |
| Gráfico 14. Concentración de DQO en Industrias de bajo impacto | 35 |
| Gráfico 15 Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO de industrias de bajo impacto..... | 35 |
| Gráfico 16. Concentración de DBO de Industrias de bajo impacto..... | 36 |
| Gráfico 17. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO de industrias de bajo impacto..... | 37 |
| Gráfico 18. Concentración de SS en industrias de medio impacto. | 37 |
| Gráfico 19. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS en industrias de medio impacto..... | 38 |
| Gráfico 20. Concentración de DQO en industrias de medio impacto. | 38 |
| Gráfico 21. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO en industrias de medio impacto..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 22. Concentración de DBO en Industrias de medio impacto..... | 40 |
| Gráfico 23. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO en industrias de medio impacto..... | 40 |
| Gráfico 24. Concentración de SS en industrias de alto impacto. | 41 |
| Gráfico 25. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS en industrias de alto impacto..... | 41 |
| Gráfico 26. Concentración de DQO en Industria de alto impacto..... | 42 |
| Gráfico 27. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO en industrias de alto impacto..... | 42 |
| Gráfico 28. Concentración de DBO en Industrias de alto impacto..... | 43 |
| Gráfico 29. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO en industrias de alto impacto..... | 44 |
| Gráfico 30. Carga Contaminante de DBO en la PTAR de Ucubamba..... | 44 |
| Gráfico 31. Carga contaminante de DBO de las ARD..... | 45 |
| Gráfico 32. Carga contaminante de DBO de las ARS. | 45 |
| Gráfico 33. Carga contaminante de DBO de las ARI | 46 |
| Gráfico 34. Carga contaminante de DBO de las ARI de alto impacto..... | 47 |
| Gráfico 35. Carga contaminante de DBO de las ARI de medio impacto..... | 47 |
| Gráfico 36. Carga contaminante de DBO de las ARI de bajo impacto | 48 |
| Gráfico 37. Carga Contaminante de DQO en la PTAR de Ucubamba | 49 |
| Gráfico 38. Carga contaminante de DQO de las ARD | 49 |
| Gráfico 39. Carga contaminante de DQO de las ARS..... | 50 |
| Gráfico 40. Carga contaminante de DQO de las ARI | 51 |
| Gráfico 41. Carga contaminante de DQO de las ARI de alto impacto | 51 |
| Gráfico 42. Carga contaminante de DQO de las ARI de medio impacto | 52 |
| Gráfico 43. Carga contaminante de DQO de las ARI de bajo impacto | 52 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 44. Carga Contaminante de SS en la PTAR de Ucubamba | 53 |
| Gráfico 45. Carga contaminante de SS de las ARD | 54 |
| Gráfico 46. Carga contaminante de SS de las ARS..... | 54 |
| Gráfico 47. Carga contaminante de SS de las ARI | 55 |
| Gráfico 48. Carga contaminante de SS de las ARI de alto impacto | 55 |
| Gráfico 49. Carga contaminante de SS de las ARI de medio impacto | 56 |
| Gráfico 50. Carga contaminante de SS de las ARI de bajo impacto | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Número de procesos de regularización ambiental ejecutados por año por la CGA..... | 2 |
| Tabla 2. Comparación de características de aguas residuales domésticas para países industrializados y en desarrollo..... | 8 |
| Tabla 3. Valores típicos de ARD. | 8 |
| Tabla 4. Parroquias y áreas de cobertura de la PTAR de Ucubamba. | 19 |
| Tabla 5. Aporte de caudal y carga contaminante de las ARD en el tiempo de funcionamiento de la PTAR de Ucubamba | 22 |
| Tabla 6. Clasificación de las industrias por su impacto | 23 |
| Tabla 7. Datos anuales de caudal y concentraciones en el afluente de la PTAR de Ucubamba | 26 |

INCIDENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA REGULARIZACIÓN AMBIENTAL POR EFLUENTES INDUSTRIALES EN LA CAPACIDAD PROYECTADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA.

RESUMEN

La Municipalidad de Cuenca a través de sus diferentes empresas y departamentos, maneja el sistema de recolección, transporte y depuración de aguas residuales; además de ejecutar procesos de regularización ambiental a las actividades industriales que se desarrollan dentro del área de su competencia.

En este trabajo de tesis, mediante la clasificación y estimación del aporte de carga contaminante de las aguas residuales y del procesamiento de los datos provenientes de resultados de análisis de los diferentes efluentes industriales, se llegó a tener una visión general de la producción de la carga contaminante de los efluentes, su aporte e influencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento.

ABSTRACT

Impact of the environmental regulation results from industrial effluents into the projected capacity of *Ucubamba* Wastewater Treatment Plant

The Municipality of Cuenca through its various companies and departments, manages the wastewater collection, transport and treatment systems. In addition, it implements environmental regulation processes to industrial activities which take place within the area of its competence.

In this thesis, it was possible to have an overview of the production of the effluents polluting load, its contribution and influence in the operation of the treatment plant by classifying and estimating the contribution of pollutant load of wastewater and by the processed data from the test results of the different industrial effluents.




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INCIDENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA REGULARIZACIÓN AMBIENTAL POR EFLUENTES INDUSTRIALES EN LA CAPACIDAD PROYECTADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La ciudad de Cuenca cuenta con un sistema Alcantarillado y de Tratamiento de Aguas Residuales que transporta los efluentes domésticos, industriales, de servicios y las aguas lluvias hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR, que se encuentra ubicada en el sector de Ucubamba, la cual tiene una capacidad de tratamiento o de recepción de carga contaminante, un período de diseño y un área de influencia o de cobertura definidos.

La PTAR de Ucubamba fue diseñada principalmente para la remoción de DBO_5 , (Demanda Biológica de Oxígeno), parámetro que entre otros es monitoreado a través de los años de funcionamiento y que demuestra que la PTAR de Ucubamba ha soportado adecuadamente la carga contaminante producida por la ciudad con una capacidad suficiente que seguirá teniendo por un tiempo no determinado.

La ciudad de Cuenca genera diferentes tipos de efluentes establecidos en varios sectores, no necesariamente físicos o delimitados, como son:

- Doméstico: efluentes relativamente homogéneos producidos en los hogares, resultado de las actividades diarias de aseo y alimentación principalmente.
- Industrial: efluente totalmente heterogéneo que varía en calidad y cantidad de acuerdo al tipo de actividad productiva que elabore la industria.
- Servicios, llamada así por ser de uso general de la ciudadanía, como son los producidos en mercados, hospitales, plazas, relleno sanitario, centros educativos, etc.

La Municipalidad de Cuenca a través de la Comisión de Gestión Ambiental – CGA –, ha implementado un sistema de regularización ambiental, solicitando a las empresas y actividades que se desarrollan dentro del cantón Cuenca, para que cuenten con un sistema de Evaluación de Impacto Ambiental EIA, para los cuales se realizan en diferentes instantes o momentos la medición y el muestreo de caudales y la composición de los efluentes que se arrojan al sistema de alcantarillado, cuyos datos en conjunto no han sido analizados como indicador de la contaminación ambiental de la ciudad.

Según los datos proporcionados por la CGA, el número de procesos de regularización ambiental realizados por año, desde al año 2007, fecha en la que se inició con la puesta en práctica de la “Ordenanza para la aplicación del Subsistema de evaluación de Impacto Ambiental”, dentro de la jurisdicción del Cantón Cuenca, se han realizado los siguientes:

| AÑO | No. de procesos |
|------------|------------------------|
| 2007 | 225 |
| 2009 | 412 |
| 2010 | 1598 |
| 2011 | 2613 |
| 2012 | 224 |
| 2013 | 233 |

Tabla 1. Número de procesos de regularización ambiental ejecutados por año por la CGA.

Fuente: Comisión de Gestión Ambiental, Municipalidad de Cuenca

La PTAR de Ucubamba no ha llegado a utilizar la totalidad de la su capacidad instalada, razón por la cual ha operado con normalidad sin presentar problemas en el tratamiento de las aguas residuales que ingresan.

La problemática parte de la incertidumbre generada por la falta de información que no ha sido recolectada continuamente en la producción de efluentes en el alcantarillado de la ciudad de Cuenca, ya que se tienen datos puntuales de la producción industrial en ciertos años y épocas; además, no se ha realizado un monitoreo de las aguas residuales tanto domésticas como de servicios, por lo que no se conoce a ciencia cierta el aporte de contaminación o de caudal que tiene cada uno de estos sectores, contra el universo de datos fruto del monitoreo continuo del ingreso de agua residual a la PTAR de Ucubamba.

El enfoque que se persigue con este trabajo de tesis es el de tener una visión general de la producción de efluentes dentro del cantón Cuenca y que son captadas por el sistema de alcantarillado y conducidas por la PTAR de Ucubamba; con el fin de poder establecer el aporte de contaminación de cada sector de donde provienen los efluentes, en base a las hipótesis de diseño de alcantarillado aprobadas por ETAPA EP a los Planes Maestros y los resultados de las evaluaciones ambientales efectuadas a las industrias cuencanas, realizadas en los últimos años.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar la relación existente entre las descargas de los efluentes de los sectores domésticos, industriales y de servicios que se generan dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba para determinar su inferencia de las condiciones actuales en su funcionamiento y capacidad.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de contaminación medidos tiene un mayor impacto en el funcionamiento de la PTAR de Ucubamba.
- Establecer la relación entre los efluentes de cada uno de los sectores aportantes identificados y su relación con el agua que ingresa al tratamiento en la PTAR de Ucubamba.

- Determinar el comportamiento que presentan los efluentes industriales fruto de la incorporación de los procesos de Evaluación Ambiental.

1.3 DATOS GENERALES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La ciudad de Cuenca cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), ubicada en el sector de Ucubamba, en el Km. 8,5 de la Autopista Cuenca – Azogues, que ha estado en funcionamiento desde el mes de noviembre de 1999 y que es el punto final de la red de alcantarillado combinado y de colectores marginales que se construyeron en los 4 ríos y 2 quebradas que atraviesan la ciudad y que sirven para la recolección y transporte de las aguas residuales que se producen. (ETAPA EP, 2008)

Los principales componentes del sistema son los siguientes:

1.3.1 Sistema de Alcantarillado

El tipo de alcantarillado que se utiliza en la ciudad de Cuenca es un sistema combinado, que transporta en la misma infraestructura las aguas residuales y las aguas lluvias. Éstas son conducidas desde las fuentes emisoras hasta llegar a los *interceptores*, que fueron construidos paralelos a los cauces de los cuerpos de agua que atraviesan la ciudad y evitan la descarga directa a los mismos, evitando la contaminación de los cauces. Los interceptores conducen las aguas residuales hasta llegar al emisario final, el cual transporta las aguas residuales de la ciudad a la PTAR de Ucubamba para su tratamiento y posterior descarga al río Cuenca.

Para evitar cualquier tipo de problemas o de daños en el sistema de tratamiento, para las épocas de lluvia, los interceptores cuentan con un sistema de vertederos de exceso que desfogon la cantidad remanente de agua directamente a los cauces de los ríos y quebradas, cuerpos de agua en distintos puntos del sistema.

1.3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba – PTAR Ucubamba – (ETAPA EP, 2008).

La PTAR de Ucubamba es la principal instalación de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cuenca, concebido en la Primera Fase de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad, entró en funcionamiento en el mes de noviembre de 1999. Dispone de un proceso de depuración compuesto por estructuras de tratamiento preliminar y un sistema de lagunas de estabilización en dos líneas, constituido por lagunas aeradas primarias, lagunas facultativas secundarias y lagunas de maduración terciarias.

La vida útil de la PTAR de Ucubamba encuentra su umbral en el año 2030, según la nueva concepción, (ETAPA EP, 2008), para lo cual en el año 2013 entró en funcionamiento, luego de haberse construido e instalado, un sistema de extracción y deshidratación de lodos acumulados en el fondo de las lagunas aeradas y facultativas.

Para la toma de datos, la PTAR de Ucubamba cuenta con mediciones del caudal de entrada con un monitoreo constante en tiempo real en el cajón de llegada.

Los datos de la calidad de agua, tanto del afluente como del efluente, son monitoreados tomando muestras puntuales dos veces a la semana. Estas muestras son analizadas en el laboratorio ubicado en las mismas instalaciones, donde se obtienen los resultados que son mostrados en las publicaciones realizadas por la Empresa ETAPA EP.

La PTAR de Ucubamba está compuesta de los siguientes elementos:

- Estructuras de Tratamiento Preliminar:
 - Cajón de llegada – by pass – compuerta de admisión: la estructura de llegada actúa como un cajón rompe presiones y permite el desfogue de los excesos de caudal en épocas de lluvia y cuando sea necesaria la limpieza o mantenimiento de la PTAR de Ucubamba.
 - Cribas metálicas autolimpiantes: retienen y evacúan los desechos sólidos de tamaño mayor a 20 mm.
 - Desarenadores cuadrados de flujo horizontal: retienen y evacúan partículas de diámetro mayor o igual a 0.2 mm., cuyo peso específico sea igual o mayor a 2.65 ó con velocidades de sedimentación superiores a las de los sólidos orgánicos putrescibles contenidos en las aguas residuales. Cuentan con un mecanismo de retirado, transporte y lavado de arena. Permite evitar la abrasión y el exceso de desgaste de los aeradores y el depósito de material en las lagunas.
- Lagunas:
 - Lagunas aeradas: en estas lagunas se introduce aire al agua residual mediante aeradores flotantes de alta velocidad y eje inclinado, que permite mantener en un periodo de retención corto y evitar sobrecarga de la siguiente unidad, permitiendo la separación de sólidos y reducción de la carga orgánica. Son lagunas que constan en el fondo con una impermeabilización a base de arcilla compactada y sus taludes están recubiertos con hormigón lanzado con armadura metálica, con mezcla asfáltica en las justas de las losetas para evitar infiltraciones y el crecimiento de vegetación.
 - Lagunas facultativas: el desecho biológicamente tratado en las lagunas aeradas es descargado en las lagunas facultativas para almacenar y asimilar los sólidos biológicos, en condiciones adecuadas de carga orgánica y balance de oxígeno para sustentar una adecuada biomasa de algas unicelulares en la parte superior de la laguna. Presenta condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana y una adecuada remoción de nematodos intestinales.
 - Lagunas de maduración: se encuentran al final de la serie y a éstas no llegan sólidos biológicos que no sean algas unicelulares y prácticamente no acumulan lodos. Al igual que las lagunas facultativas, presentan condiciones adecuadas para la mortalidad bacteriana y para la sustentación de biomasa de algas unicelulares en la parte superior de la laguna. Elimina además la contaminación remanente de los procesos anteriores.

- Tratamiento de lodos: Para el tratamiento de lodos, se tienen los siguientes componentes del sistema:
 - Extracción y bombeo inicial mediante un sistema de dragas.
 - Recolección y transporte mediante un sistema de tuberías y bombeo.
 - Tamizado de los lodos
 - Unidades de espesamiento de lodos por gravedad.
 - Deshidratación de lodos.
 - Almacenamiento de lodos deshidratados para su transporte a su disposición final.

Los principales datos de la PTAR de Ucubamba se resumen a continuación:

- Caudal de diseño del cajón de llegada: $3,64 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Caudal máximo horario de aguas residuales en época seca: $2,27 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Número de cribas metálicas: 3
- Capacidad de remoción c/u: 680 l/s
- Número de desarenadores: 2
- Dimensiones (ancho, largo, profundidad): 10 m., 10 m., 1,45 m.
- Número de transportadores de arena: 2
- Diámetro transportador de arena: 200 mm.
- Longitud transportadora de arena 10 m.
- Número de lagunas aereadas: 2
- Área laguna aereada: 6 Ha c/u.
- Profundidad laguna aereada: 4,5 m
- Volumen laguna aereada: $135.000 \text{ m}^3 \text{ c/u}$.
- Número de aereadores: 10 unidades en cada laguna.
- Número de lagunas facultativas: 2
- Área laguna facultativa: 13 Ha c/u.
- Profundidad laguna facultativa, 2 m.
- Volumen laguna aereada: $260.000 \text{ m}^3 \text{ c/u}$.
- Número de lagunas de maduración: 2
- Área laguna de maduración: 7,4 Ha superior; 5,6 Ha inferior.
- Profundidad laguna de maduración: 2 m.
- Volumen laguna de maduración: 148.000 m^3 superior, 112.000 m^3 inferior.

1.3.3 Parámetros de diseño

Las bases de diseño utilizadas y que se plantearon para el agua que ingresa a la PTAR de Ucubamba proveniente de la red de alcantarillado sanitario (Yáñez, 1989) y que es tratada en la laguna en un inicio en la Laguna Aereada, son:

- Caudal medio: 1899 l/s
- Caudal máximo: 2688 l/s
- Concentración DBO: 249 mg/l
- Carga DBO: 39434 Kg/día

2 MARCO TEÓRICO

2.1 HIPÓTESIS PLANTEADAS

2.1.1 Clasificación de las aguas residuales.

Las aguas residuales son una mezcla compleja que contiene agua en un 99%, combinada con contaminantes orgánicos tanto en suspensión como disueltos (Henry, y otros, 1999); que, dependiendo de las fuentes que se tengan, varía su contenido con un diverso tipo de sustancias en diferentes concentraciones, que afectan su comportamiento.

Principalmente se definen tres tipos de aguas residuales, clasificándolas en: *domésticas*, que son las provenientes de los domicilios; *municipales*, que corresponden al agua residual que es captada por las alcantarillas y transportada hacia un tratamiento e *industriales*, que son las descargas de industrias manufactureras (Romero, 2010).

En esta clasificación se pueden incluir además las aguas residuales *comerciales*, que corresponden a los sitios comerciales definidos y que están presentes en la ciudad y son parte de los servicios como son mercados, plazas, etc.; y, las aguas residuales *institucionales*, que toma en cuenta a escuelas, colegios, universidades, centros de salud, hospitales, hoteles y otros establecimientos que requieren de un tratamiento especial, o en su defecto presentan un tipo específico de aguas residuales, que pueden contener agentes que pueden afectar el funcionamiento de un sistema de alcantarillado o el tratamiento de las aguas residuales combinado (López, 2006).

Tomando en cuenta estos conceptos, para el caso de la ciudad de Cuenca, se determinan tres tipos de aguas residuales:

1. **Domésticas:** que corresponden a las aguas residuales que son producidas en los sectores residenciales, que albergan viviendas, condominios y edificios de departamentos, pero que comparten características comunes, como se va a determinar más adelante.
2. **Industriales:** corresponden a las aguas residuales que son producidas por las diferentes industrias que se asientan dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, que para el presente trabajo fueron identificadas y clasificadas por su respectivo Código Internacional Industrial Unificado –CIIU–; que, para su aplicación en el Ecuador, está contenido en el documento producido por el Instituto Nacional de Estadística y Censos –INEC– llamado: Clasificación de Actividades Económicas, el cual está basado en el CIIU 4.0, y fue producido en el año 2012.
3. **Servicios:** corresponden a las aguas residuales que son arrastradas hacia las alcantarillas y sumideros de la ciudad, provenientes de las actividades de barrido y limpieza de calles, mercados, plazas y las producidas en los espacios públicos o privados de afluencia masiva como son los establecimientos educativos, cines, teatros, hospitales, etc. Dentro de este grupo se incluyeron

las aguas ilícitas, y filtraciones que pueden presentarse, que se consideran como una constante en el sistema de alcantarillado.

2.1.2 Características de las aguas residuales

2.1.2.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas -ARD- corresponden a las producidas principalmente en los hogares, identificándose en la ciudad de Cuenca como: casas, viviendas, condominios y edificios de departamentos.

Las ARD están divididas en dos grupos que son: *aguas grises*, las provenientes de duchas, tinas, lavamanos, lavaplatos, etc., que aportan DBO, Sólidos, fósforo, grasas y coliformes, principalmente; y, *aguas negras*, que son las provenientes de los inodoros, que transportan los excrementos humanos y orina, que contienen principalmente sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (Romero, 2010).

Las ARD son homogéneas, es decir que el tipo de contaminantes que transportan son similares, por lo que para la modelación en el presente trabajo, se lo hará bajo los siguientes preceptos:

- La variación de las ARD depende directamente de la variación del consumo del agua potable dentro de la ciudad, ya que se tiene un coeficiente de retorno igual a 0,8 (Arocha, 1983), es decir, que el 80% del agua potable de dotación, regresa al sistema de alcantarillado, llevando los elementos contaminantes antes mencionados. En la
- Figura 1. Curva típica descarga diaria de aguas , se muestra el comportamiento de la descarga de ARD en el sistema de alcantarillado.

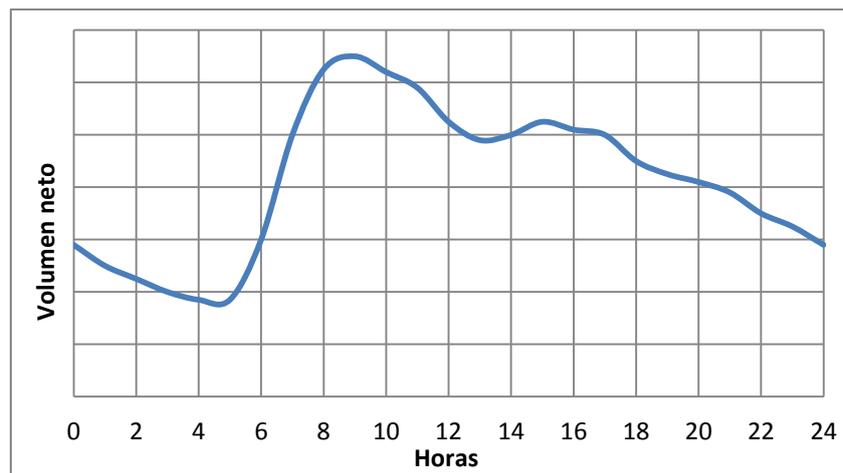


Figura 1. Curva típica descarga diaria de aguas residuales domésticas

Fuente: Romero, 2010

Se tienen los valores característicos o típicos de los diferentes parámetros medidos para determinar la contaminación de las ARD, en comparación entre los países industrializados y los países en desarrollo, según la investigación de Yanez, 1993:

| Característica | Unidad | País industrializado | País en desarrollo |
|---------------------------|----------|----------------------|--------------------|
| DBO | mg/l | 220 | 143 |
| DQO | mg/l | 500 | 281 |
| Sólidos en suspensión | mg/l | 220 | 128 |
| NH3-N | mg/l | 25 | 21 |
| Coliformes totales | #/100 ml | 1E6 – 1E10 | 1.8E8 |
| Coliformes fecales | #/100 ml | 1E6 – 1E8 | 1.2E8 |
| Conteo total de parásitos | #/100 ml | Ausente | 1,8 |
| Salmonella | #/100 ml | Ausente | 210 |

Tabla 2. Comparación de características de aguas residuales domésticas para países industrializados y en desarrollo

Fuente: Yanez, 1993.

Según la investigación de Romero, 2010, la composición típica de las ARD es:

| Característica | Unidad | Valor |
|-------------------------------|--------------------------|-------|
| Sólido totales | mg/l | 720 |
| Sólidos disueltos | mg/l | 500 |
| Sólidos disueltos volátiles | mg/l | 200 |
| Sólidos suspendidos | mg/l | 220 |
| Sólidos suspendidos volátiles | mg/l | 165 |
| Sólidos sedimentables | mg/l | 10 |
| DBO | mg/l | 220 |
| COT (Carbono Orgánico Total) | mg/l | 160 |
| DQO | mg/l | 500 |
| Nitrógeno total | mg/l - N | 40 |
| Nitrógeno orgánico | mg/l - N | 15 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l - N | 25 |
| Nitritos | mg/l - N | 0 |
| Nitratos | mg/l - N | 0 |
| Fósforo total | mg/l – P | 8 |
| Fósforo orgánico | mg/l – P | 3 |
| Fósforo inorgánico | mg/l – P | 5 |
| Cloruros | mg/l – Cl | 50 |
| Alcalinidad | mg/l – CaCO ₃ | 100 |
| Grasas | mg/l | 100 |

Tabla 3. Valores típicos de ARD.

Fuente: Rojas, 2010

2.1.2.2 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales –ARI–, corresponden a los efluentes producidos por las diferentes actividades industriales en sus diferentes procesos, provienen de los residuos de la manufactura, aguas de lavado y aguas relativamente poco contaminadas de las operaciones de mantenimiento y enfriamiento (Henry, y otros, 1999). Además este tipo de aguas contienen parte de la composición de las ARD provenientes de los servicios higiénicos utilizados por los empleados.

Este tipo de aguas son las que mayor contaminación aportan a la red de alcantarillado, y las que varían según el número, no sólo del tipo de industrias que se tengan, ya que pueden ser dos tipos similares de industrias cuyas ARI varíen notablemente.

Muchas empresas municipales de alcantarillado, imponen normas de descarga individuales a las industrias, para asegurar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, evitar la contaminación y la falla del tratamiento y del sistema de alcantarillado (Romero, 2010). Para el caso de Cuenca la CGA es la encargada de la regulación de la descarga al sistema de alcantarillado, basándose en la legislación ambiental nacional.

Mediante la “Ordenanza para la aplicación del Subsistema de evaluación de Impacto Ambiental, dentro de la jurisdicción del Cantón Cuenca”, expedida en el año 2009, se establecen los mecanismos para el control ambiental, como se explica en el numeral 2.2.1 Legislación consultada.

2.1.2.3 Aguas residuales de servicios

Las aguas residuales de servicio -ARS-, corresponde a los efluentes provenientes de diferentes instalaciones e infraestructuras que encontrándose dentro de la ciudad y el área de influencia de la PTAR de Ucubamba, tales como mercados, plazas, instituciones educativas, barrido de calles y demás, mantienen la principal característica de ser constantes en sus propiedades y que responden a una periodicidad en su producción sin embargo no son monitoreadas en cantidad ni calidad.

En este tipo de aguas se ha incluido a las aguas de infiltración que son consideradas como la entrada del agua que encuentra por debajo del nivel freático del suelo a través de las uniones entre tramos de tuberías, fisuras en el tubo y en la unión con las estructuras de conexión como los pozos de inspección (López, 2006).

2.1.3 Producción de Agua Residual

Después de definir los tipos de aguas residuales que se van a utilizar para el análisis, se define la siguiente hipótesis:

Las aguas residuales, tanto ARD, ARI y ARS, producidas dentro del área de cobertura, aportan directamente al afluente de la PTAR de Ucubamba (ARPTAR), bajo la siguiente relación:

$$ARPTAR = ARD + ARI + ARS$$

La hipótesis que se plantea para el caudal de aguas residuales que se produce en los diferentes efluentes, plantea lo siguiente:

- La cantidad de ARD es una constante determinada mediante la relación expuesta en el punto 2.1.2.1, con la dotación de agua potable y el coeficiente de retorno, esto quiere decir, que la cantidad per cápita de aguas residuales se mantiene constante. La cantidad de ARD aumenta conforme aumente la

población dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, o en su defecto, aumenta al incorporarse o conectarse nuevos sectores a la red de alcantarillado existente que conduce las ARD a la PTAR de Ucubamba.

- La cantidad de ARI varía de acuerdo al tipo de industria, a la producción que tenga, no pudiendo establecerse una relación directa entre el consumo de agua potable de la red pública y la cantidad descargada, ya que ciertas industrias poseen sistemas de almacenamiento o de recirculación de agua, lo cual interfiere en la relación determinada en las ARD. Por este motivo, se realizan los muestreos individuales de las descargas industriales, para determinar el caudal de aporte.
- La cantidad de ARS se determinan por la hipótesis de que su producción se mantiene constante, ya que las entidades municipales manejan una periodicidad establecida para la limpieza de mercados, plazas, espacios públicos. El aporte a la PTAR de Ucubamba se mantiene en aumento, ya que al aumentar la población, aumenta también el número de espacios e infraestructura destinados como servicios, o en su defecto, se incrementa el área.

En lo que se refiere a la calidad de las aguas residuales, se tienen los siguientes conceptos que se adoptan como parte de la hipótesis planteada:

- La calidad de las ARD se va a mantener constante; esto se debe a que en los domicilios el tipo de contaminación producida no varía significativamente, ya que se tienen las mismas fuentes de aguas grises y negras, como se explicó en el punto 2.1.2.1. El aumento de la población y a su vez el aumento de conexiones al alcantarillado, influye en el aumento de producción de carga contaminante.
- La calidad de las ARI varía según el tipo de industria, sin embargo, se plantea el hecho de que por efecto de las regulaciones y el control ambiental que se realiza dentro del cantón Cuenca por parte de la Comisión de Gestión Ambiental –CGA– se está tendiendo a la baja, ya que las empresas realizan esfuerzos para controlar su nivel de contaminación y lograr ubicarse dentro de los niveles exigidos por las normas, las cuales se explicarán más adelante en el numeral 2.2.1.
- La calidad de las ARS se mantiene constante, ya que el tipo de contaminación que producen es similar, o varía muy poco, por ejemplo, al momento de realizar la limpieza de un mercado, el tipo de contaminación que se genera, resulta similar cada vez que se la realiza. Este concepto es aplicado a cada uno de los servicios identificados e incluidos en esta categoría.

En el siguiente gráfico, se muestra la hipótesis tendencial de crecimiento de la carga contaminante a través de los años que ingresaría en la PTAR de Ucubamba, de acuerdo a las distintas fuentes, frente al límite de tratamiento o de diseño que tiene y que se determina para el año 2030.

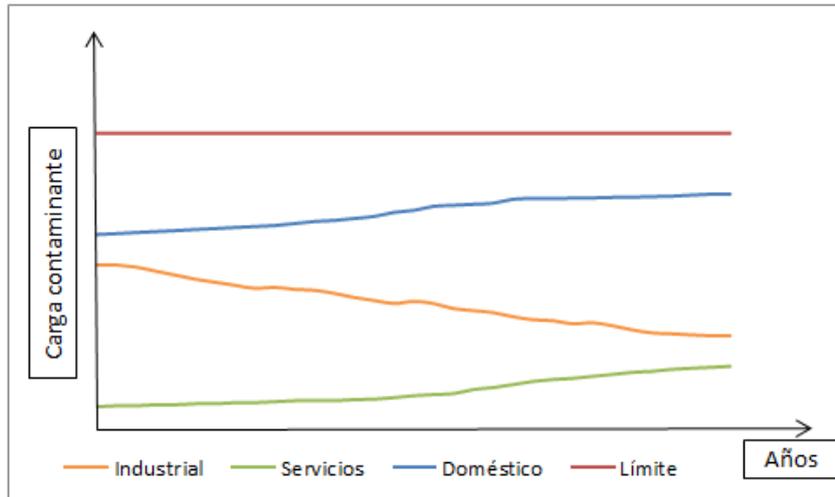


Figura 2. Hipótesis tendencial de comportamiento de las aguas residuales en relación al límite de capacidad de tratamiento.

Fuente: Hipótesis planteada. Sin escala

2.1.4 Parámetros a analizar

Se han definido tres parámetros, que se encuentran determinados en la ordenanza de alcantarillado de ETAPA EP y que además bajo los conceptos planteados por Yanez, 1993, son los más importantes o a tomar en cuenta en las aguas residuales municipales, por lo que se trabajará con los siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. LA DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero, 2010). La DBO es el parámetro que se ha utilizado para el diseño de la PTAR de Ucubamba, por el tipo de tratamiento que se realiza (Yánez, 1989).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): se utiliza para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica. El valor de la DQO debe ser igual a la DBO última¹ y la relación DQO/DBO, varía entre 1,2 y 2,5 (Romero, 2010).

¹El ensayo que se encuentra en la norma para la medición de la DBO útil se lo realiza en 5 días a 20°C, sin embargo, puesto que la oxidación biológica continúa indefinidamente, la prueba de la DBO última se ha limitado de manera arbitraria a 20 días, cuando se ha consumido quizá el 95% o más del oxígeno necesario (Henry et al, 1999).

- Sólidos Suspendidos o en Suspensión: el contenido de sólidos afecta directamente en la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. (Romero, 2010). Los sólidos suspendidos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. Son los que tienen un tamaño mayor de $1,2 \mu\text{m}$ (Romero, 2010) El aumento de la cantidad de lodo depositado, o sedimentado, afecta a las unidades de tratamiento y al tratamiento en general, ya que al aumentar la cantidad de lodos depositados, disminuye el volumen útil de tratamiento, lo que afecta en el aumento del tiempo de retención del agua residual, consumiendo el tratamiento y afectando en la eficiencia del mismo.

2.2 METODOLOGÍA UTILIZADA

2.2.1 Legislación consultada

El análisis del marco legal se lo realiza en el ámbito ambiental, por el objetivo que tiene de regular las actividades humanas para mantener el equilibrio con el entorno natural y el ambiente; evitar la falta de control y el abuso que pudiera generar el ser humano respecto a su comportamiento y el mantenimiento de la vida, para lograr un equilibrio y la sostenibilidad de la vida humana.

Generalmente la legislación controla las cargas o concentración de contaminantes y nutrientes, que se vierten al sistema de alcantarillado o cuerpos de agua; constituyen el objeto de la regulación, por parte de leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos aplicables a ella (Romero, 2010) .

Para el análisis del marco legal dentro del cantón Cuenca, se tomaron en cuenta los siguientes cuerpos legales:

- a. Constitución Política de la República del Ecuador 2008, Título II: Capítulo segundo, Derechos del buen vivir, Art.14 “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.” y 15 y Capítulo séptimo Art. 71 al 73. Título VI: Capítulo quinto Art. 313 al 318.
- b. Ley de Gestión Ambiental, publicada en el R.O. No. 245 del 30/Jul./99. (Ley 99-37). La Ley de Gestión Ambiental (LGA) rige desde el 30 de julio de 1999 y establece normas básicas para la aplicación de políticas ambientales así como un esquema de administración ambiental por parte del Estado a través de un manejo horizontal presidido por el Ministerio del Ambiente y conformado por todos los ministerios e instituciones del Estado con competencia ambiental, la ley denomina en el Art. 10 a este mecanismo como el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental. La LGA, regula aspectos institucionales, de competencia, sustantivos, de procedimiento y sancionatorios Se destaca el Art. 20 que establece la exigencia de la licencia ambiental previa para toda actividad que implique riesgo ambiental.
- c. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Ministerio del Ambiente, promulgado mediante Decreto Ejecutivo 3399, publicado en el

registro oficial RO 725 del 16 de diciembre del 2002. La gestión ambiental es responsabilidad de todos y la coordinación está a cargo del Ministerio del Ambiente, a fin de asegurar una coherencia nacional, entre las entidades del sector público y del sector privado en el Ecuador, sin perjuicio de que cada una deberá atender el área específica que le corresponde, dentro del marco de la política ambiental. Esta unificación de legislación ambiental persigue identificar las políticas y estrategias específicas y guías necesarias a fin de asegurar por parte de todos una adecuada gestión ambiental permanente, dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable. Los capítulos y artículos a estudiar son: Libro III Del Régimen Forestal Título IV De los Bosques y Vegetación Protectores; Libro VI de la Calidad Ambiental.

- d. Reforma y Codificación de la Ordenanza de Creación y Funcionamiento de la Comisión de Gestión Ambiental. C.G.A.; publicada el 20 de enero del 2000.
- e. Ordenanza para la Aplicación del Subsistema de Evaluación de Impacto Ambiental, dentro de la jurisdicción del cantón Cuenca, publicada el 13 de Abril del 2009.
- f. Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca, Determinaciones para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano; publicada en el Registro Oficial No. 084, del 19 de mayo de 2003.
- g. Ordenanza de administración, regulación y Tarifas para el uso de los servicios de alcantarillado del Cantón Cuenca, publicada en el R.O., el 30 de junio de 1993.

2.2.2 Obtención de los datos de las aguas residuales

2.2.2.1 Datos de aguas residuales industriales

Para la obtención de los datos de las industrias, que son parte fundamental para el desarrollo del presente trabajo, se tomó inicialmente en consideración los cuerpos legales que regulan las actividades dentro del cantón Cuenca, como son:

- La Ordenanza de Uso y Ocupación del Suelo que tiene en sus anexos la información de las actividades permitidas dentro del cantón Cuenca, dividiéndolas según su Código Internacional Industrial Uniforme – CIU – en tres tipos de actividades que son alta, media y baja.
- La Comisión de Gestión Ambiental – CGA – acogiéndose a la legislación nacional vigente, clasifica a las actividades que se desarrollan dentro del cantón Cuenca de acuerdo al Catálogo de Categorización Ambiental Nacional – CCAN – documento que entró en vigencia desde el mes de julio de 2013. La cual divide las actividades en 4 categorías:
 - Categoría I: son aquellas actividades con impactos ambientales no significativos, que requieren del certificado de registro ambiental en el Ministerio del Ambiente – MAE – y cumplir con una guía de buenas prácticas ambientales de acuerdo al proyecto.
 - Categoría II: son actividades que presentan impactos ambientales de bajo riesgo, que requieren de una licencia ambiental categoría II con la aprobación de una Ficha Ambiental y Plan de Manejo Ambiental por parte del MAE.

- Categoría III: son actividades con impactos ambientales considerados de mediano impacto, que requieren de una licencia ambiental categoría III con la aprobación de una Declaratoria de Impacto Ambiental.
 - Categoría IV: son actividades con impactos ambientales considerados de alto impacto, que requieren de una licencia ambiental categoría IV con el pronunciamiento favorable de un Estudio de impacto Ambiental por parte del MAE.
-
- En el caso del cantón Cuenca, debido a que mediante Resolución Ministerial No. 053, publicada en el Registro Oficial No.159, de fecha 5 de diciembre de 2005, el MAE aprueba y confiere al Municipio de Cuenca la acreditación como Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable – AAAR – con lo cual, a través de la CGA, tiene la potestad de evaluar y aprobar estudios de impacto ambiental, planes de manejo ambiental y emitir licencias ambientales para la ejecución de proyectos dentro de la competencia y jurisdicción territorial.

Con lo dicho, en base a los cuerpos legales nombrados en párrafos anteriores y debido a que la Categoría I del CCAN no corresponde a actividades industriales para el presente trabajo, se consideró la clasificación de las actividades industrias en base a la Ordenanza de Uso y Ocupación del suelo, en tres categorías:

- Bajo impacto
- Medio impacto
- Alto impacto

Para el análisis de las industrias en las que se tomaron los datos, se siguieron los siguientes parámetros:

- Se obtuvo el universo de industrias, tomando como punto de partida la base de datos del Censo Económico del año 2010, realizado por el Instituto de Estadísticas y Censos – INEC – y la información de las industrias afiliadas a la Cámara de Industrias de la ciudad de Cuenca.
- Del universo de industrias, se obtuvo mediante muestreo los datos de descarga de efluentes tomando las actividades industriales más relevantes dentro del cantón Cuenca.
- Se delimitó el Área de Influencia de cobertura de la PTAR de Ucubamba, con lo que se trabaja con los efluentes industriales que efectivamente son conducidos hacia ésta.
- Para asegurar la confidencialidad de los datos con los que se trabajó, no se toma en cuenta los nombres de las industrias, sino que se clasifican y se agrupan las mismas de acuerdo a su respectivo número CIU² correspondiente

² CIU: Clasificación Internacional Industrial Uniforme, es la clasificación sistemática de todas las actividades económicas cuya finalidad es la es establecer su codificación armonizada a nivel mundial.

al tipo de actividad industrial. Bajo esta concepción se trató de mantener uniformidad y un “histórico” en los datos.

Para la toma de datos de calidad y cantidad de aguas industriales propiamente dicha, se trabajó de la siguiente manera:

- Se obtuvo la información de los archivos de la CGA, correspondientes a los procesos de Regulación Ambiental (Estudios de Impacto Ambiental – EIA – y de las Auditorías Ambientales – AA –) que son exigidos a las industrias. Los datos que se tomaron en cuenta corresponden al periodo de funcionamiento de la PTAR de Ucubamba.

2.2.2.2 Datos de aguas residuales domésticas

Para la obtención de los datos de las ARD, se trabajará de la siguiente forma:

- Se establecerá el área de influencia de la PTAR de Ucubamba, tomando en cuenta las variaciones que ha sufrido, debido a que se ha ampliado desde el inicio de su funcionamiento en el mes de noviembre de 1999, con la construcción de redes de alcantarillado conectadas a los colectores marginales a los ríos y quebradas que atraviesan la ciudad (ETAPA EP, 2008).
- Se estimará la población que se encuentra dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, así mismo, tomando en cuenta la variación del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, a través del tiempo de funcionamiento de la misma, se utilizará la información procedente de los censos realizados en los años 2001 y 2010 por el INEC y las proyecciones de población en base a la tasa de crecimiento y proporcionados por la empresa ETAPA EP.
- El caudal de aporte al sistema de alcantarillado, se tomará de 145 lt/hab*día, valor obtenido de los datos que maneja la Unidad de Planificación de ETAPA EP.

2.2.2.3 Datos de aguas residuales de servicios

Los datos de las aguas residuales de servicio, tanto para la cantidad y la calidad, serán obtenidos de acuerdo a la Ecuación 1. Ecuación de Continuidad para las aguas residuales **que ingresan a la PTAR de Ucubamba.** y la Ecuación 2. Balance de masas para las aguas residuales **que ingresan a la PTAR de Ucubamba.** planteadas como hipótesis en el punto 2.2.4 del presente documento.

2.2.2.4 Datos del afluente a la PTAR de Ucubamba

Los datos de caudal y concentraciones correspondientes al afluente de entrada a la PTAR de Ucubamba, fueron obtenidos de los siguientes documentos facilitados por la Subgerencia de Operaciones de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de empresa ETAPA EP:

- Caudales en el efluente PTAR de Ucubamba año 2012, Ing. Civil Galo Durazno Orellana

- Concentraciones PTAR de Ucubamba año 2012, Ing. Civil Galo Durazno Orellana.

2.2.3 Carga contaminante

Para la medición del grado de contaminación de las aguas residuales – AR – se toma como referencia la concentración de los diferentes parámetros medidos, generalmente en mg/l; sin embargo estos no representan a cabalidad el real grado de contaminación que tienen los diferentes efluentes, debido a la contribución del caudal, el cual mediante la dilución, puede hacer variar la concentración desde su producción hasta la llegada a su tratamiento.

Con el fin de evitar la volatilidad y la incertidumbre que se genera al considerar únicamente la concentración, uno de los aspectos más importantes cuando se cuantifica la dimensión de la calidad de agua, se tiene que trabajar en función de la carga másica total de un contaminante descargado por unidad de tiempo sobre la fuente receptora, (Romero, 2010), es decir, se debe introducir el concepto de carga contaminante – CC – que es el resultado de la concentración multiplicado por el caudal vertido; se expresa en kg/día, y conceptualmente expresa la masa de contaminante en una unidad de tiempo.

Para todos los casos, se tiene caudal expresado en l/s y la concentración en mg/l, por lo que será necesario aplicar un factor de 0.0864 para obtener las Carga Contaminante en la unidad de kg/día.

2.2.4 Ecuación de la continuidad y Balance de masas

Continuando en el planteamiento de la hipótesis, se toman los siguientes conceptos:

- El **balance de masa** a través de una superficie lateral, puede interpretarse de una forma más directa, puesto que el balance entre masa entrante y saliente por una superficie de control³, es compensado por la masa en el interior del volumen de control⁴. En el caso de la conducción en tuberías, el balance de masas entrante y saliente solo tendrá lugar entre las secciones de inicio y final, siendo nula en el tiempo (Pérez Farrás, 2002)
- La **ecuación de la conservación de la masa** establece que la tasa temporal de cambio de la masa en el volumen de control, más la tasa neta a la cual la masa

³ Volumen de control: Se refiere a una región en el espacio para el análisis de situaciones donde ocurre flujo dentro y fuera del espacio. El tamaño y forma del volumen de control son totalmente arbitrarios, pero con frecuencia se hacen coincidir con fronteras sólidas. Por superposición de una velocidad uniforme sobre un sistema y sus alrededores, a veces se puede encontrar una situación conveniente para la aplicación del volumen de control. (Streeter et al, 2000)

³ Superficie de control: Es la frontera del volumen de control. Las fronteras de un sistema forman una superficie cerrada que puede variar con el tiempo de manera que contenga la misma masa durante cambios en su condición. (Streeter et al, 2000)

sale del volumen de control a través de su superficie es igual a cero (Streeter, y otros, 2000).

- La **ecuación de la continuidad** es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. (Giles, 1993).

De esta manera, se plantean las siguientes hipótesis:

- *Basándonos en el principio de la ecuación de la continuidad, el caudal que ingresa a la PTAR de Ucubamba es igual a la suma de los caudales producidos dentro del área de influencia de la misma, por los diferentes emisores, como son los domésticos, industriales y de servicios, obteniendo la siguiente ecuación:*

$$Q_{PTAR} = Q_{ARD} + Q_{ARI} + Q_{ARS}$$

Ecuación 1. Ecuación de Continuidad para las aguas residuales que ingresan a la PTAR de Ucubamba.

Fuente: Hipótesis de trabajo planteada.

- *Tomando el concepto de balance de masas, se tiene que la carga contaminante que llega a la PTAR de Ucubamba, es igual a la suma de la cargas contaminantes de las aguas residuales domésticas, industriales y de servicios; planteándose la siguiente ecuación:*

$$Q_{PTAR} * C_{PTAR} = Q_{ARD} * C_{ARD} + Q_{ARI} * C_{ARI} + Q_{ARS} * C_{ARS}$$

Ecuación 2. Balance de masas para las aguas residuales que ingresan a la PTAR de Ucubamba.

Fuente: Hipótesis de trabajo planteada.

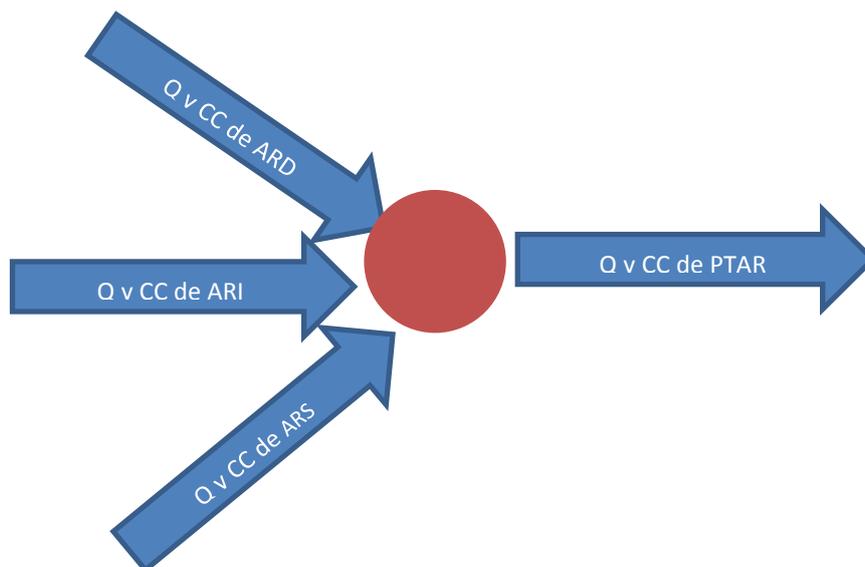


Figura 3. Ilustración de las hipótesis planteadas.

Fuente: Hipótesis de trabajo planteadas

De acuerdo a la hipótesis planteada, se tiene además, que el total de las ARI, tanto en calidad como en cantidad es el resultado de adicionar cada una de las aguas residuales de cada uno de los tipos de industrias identificadas según su impacto, ya sean, de alto impacto – IAI – de medio impacto – IMI – o de bajo impacto – IBI – teniendo:

$$Q_{ARI} = Q_{ARIAI} + Q_{ARIMI} + Q_{ARIBI}$$

Ecuación 3. Ecuación de la continuidad para el caudal de ARI.

Fuente: Hipótesis de trabajo planteada.

$$Q_{ARI} * C_{ARI} = Q_{ARIAI} * C_{ARIAI} + Q_{ARIMI} * C_{ARIMI} + Q_{ARIBI} * C_{ARIBI}$$

Ecuación 4. Balance de masas las ARI.

Fuente: Hipótesis de trabajo planteada.

2.2.5 Métodos estadísticos

Para el análisis de los datos recopilados de las aguas residuales, se utilizó el análisis probabilístico, ya que es uno de los métodos más utilizados para el análisis y la presentación de datos de calidad de agua (Romero, 2010); empleando los siguientes conceptos:

- La simulación Monte Carlo, consiste en crear un modelo matemático del sistema, proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Una vez identificados dichas variables aleatorias, se lleva a cabo un experimento consistente en generar muestras aleatorias para analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir n veces este experimento, dispondremos de n observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual nos será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo (Faulín et al).
- Se utiliza estadística inferencial cuando los datos de una muestra nos sirven para hacer inferencias (o generalizaciones) acerca de una población (Triola, 2000); esto nos quiere decir, que nos sirve para generalizar las características de un universo o una población, basados en una muestra representativa, en nuestro caso encontrar el comportamiento para la generación de carga contaminante de la totalidad de las industrias dentro del cantón Cuenca, basados en la muestra de industrias de las que se tomaron los datos.

3 DESARROLLO

3.1 ANÁLISIS DE DATOS

3.1.1 Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales domésticas – ARD – están en función, como se explicó en el punto 2.1.2.1, del caudal de dotación del agua potable, del coeficiente de retorno y de la población que se encuentra dentro del área de cobertura de la PTAR de Ucubamba.

3.1.1.1 Área de cobertura

Siguiendo la metodología indicada en el punto 2.2.2.2, se inició el análisis estableciendo el área de influencia de la PTAR de Ucubamba, la cual comprende una extensión de 15128 Ha, que incluye un 94.03% del área urbana de Cuenca (área consolidada); con la inclusión de un porcentaje del área de 9 parroquias rurales circundantes al centro urbano que se entiende como la zona de expansión urbana. En el siguiente cuadro, se presenta un resumen de las parroquias y el área que se encuentra dentro de esta área de influencia:

| PARROQUIA | ÁREA TOTAL Ha | ÁREA PTAR Ha | % |
|--------------|---------------|--------------|--------|
| Baños | 33265 | 2156 | 6.48% |
| Chiquintad | 9313 | 33 | 0.35% |
| Cuenca | 6923 | 6510 | 94.03% |
| Paccha | 2542 | 94 | 3.70% |
| Ricaurte | 1390 | 525 | 37.77% |
| San Joaquín | 18705 | 509 | 2.72% |
| Sayausí | 36857 | 389 | 1.06% |
| Sinincay | 2388 | 1806 | 75.63% |
| Turi | 2557 | 1420 | 55.53% |
| El Valle | 4452 | 1686 | 37.87% |
| TOTAL | 118392 | 15128 | |

Tabla 4. Parroquias y áreas de cobertura de la PTAR de Ucubamba.

Fuente: ETAPA EP

En los siguientes gráficos, se muestra el área de influencia de la PTAR de Ucubamba y el área de cobertura de los diferentes interceptores que atraviesan la ciudad de Cuenca:

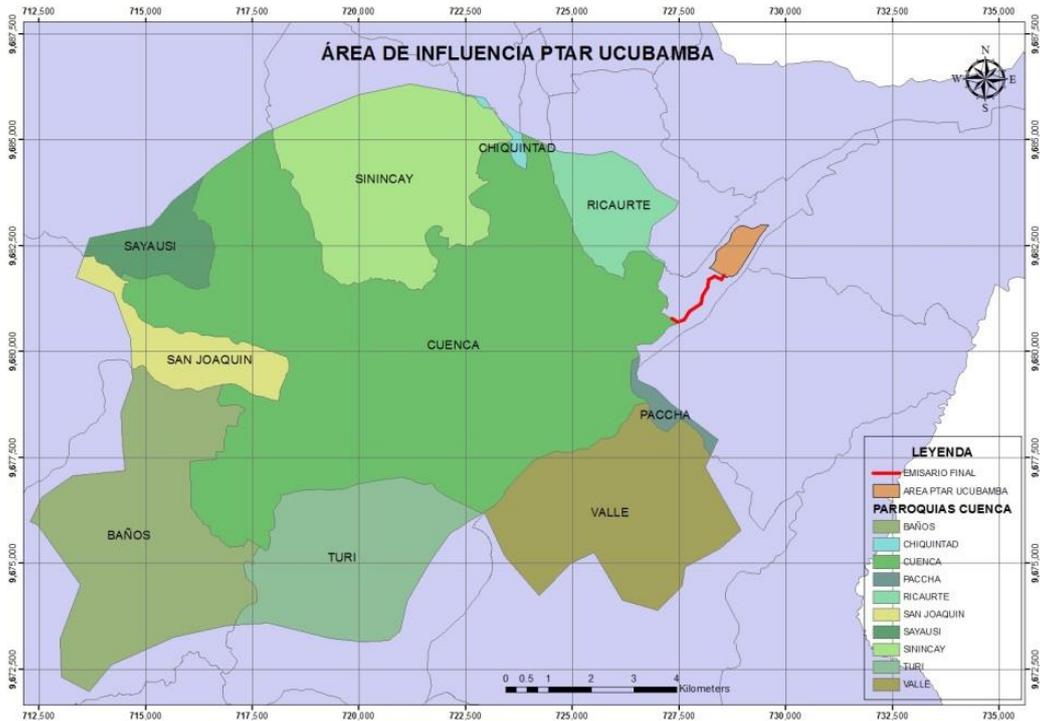


Gráfico 1. Área de influencia de la PTAR de Ucubamba
Fuente: ETAPA EP

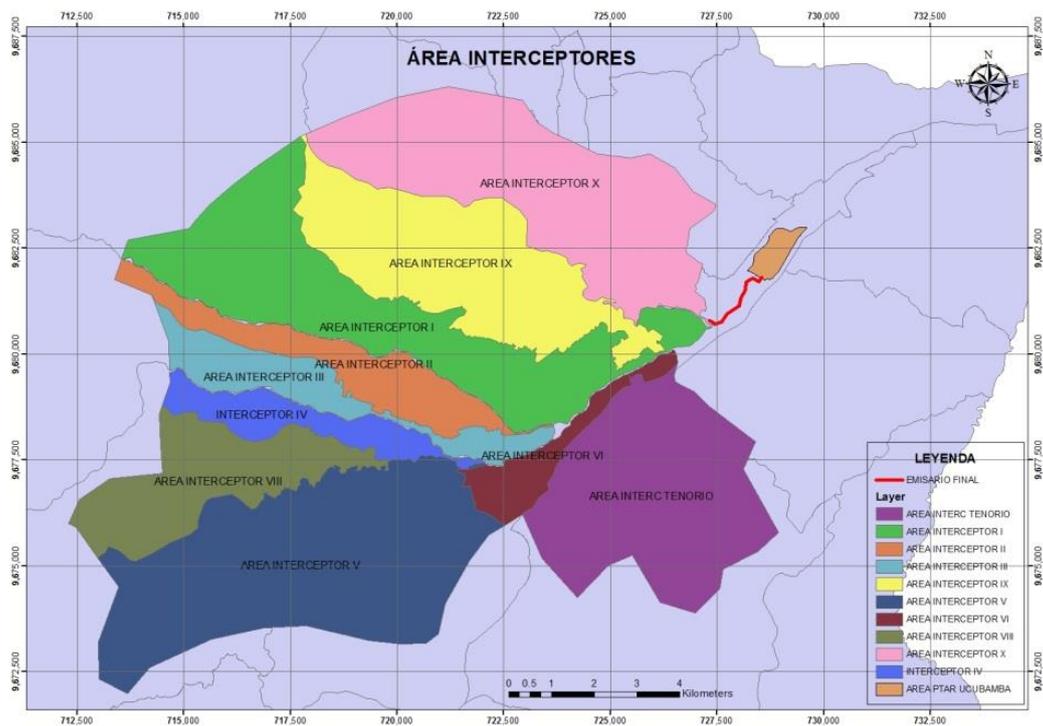


Gráfico 2. Área de interceptores
Fuente: ETAPA EP

3.1.1.2 Población

La población se estimó, conforme lo indicado en el numeral 2.2.2.2, dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, la cual, como se dijo en párrafos anteriores fue

variando a través del tiempo según como avanzó la construcción de la red de alcantarillado y se fueron incluyendo nuevos sectores. Los resultados que se obtuvieron toman en cuenta esta variación, partiendo de los datos que maneja la empresa ETAPA EP.

Para el cálculo del aporte del caudal y la carga contaminante se consideraron los argumentos puestos en análisis en el punto 2.1.2.1, respecto al caudal que ingresa a la red de alcantarillado y a los valores típicos producidos por un habitante en un país en vías de desarrollo como el caso del Ecuador:

- Caudal aguas residuales domésticas: 145 lt/hab*día
- Concentración DBO característica: 143 mg/l
- Concentración DQO característica: 281 mg/l
- Concentración Sólidos Suspendidos característica: 220 mg/l

Para los valores de la concentración de la DBO y DQO típicas, se toman los valores de Yanez, 1993, ya que estos son tomados de muestreos realizados dentro del cantón Cuenca para el estudio de diseño de la PTAR de Ucubamba. Para el valor de la concentración de Sólidos Suspendidos típica, se toma el valor de Romero, 2010.

Bajo estas consideraciones se aplicaron las siguientes fórmulas:

- Carga contaminante DBO = Caudal * DBO Típica
- Carga contaminante DQO = Caudal * DQO Típica
- Carga contaminante S. Totales = Caudal * S Totales Típica

Para completar el cálculo de la carga contaminante, se aplicó un factor de 0.0864 para la transformación a kg/día.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

| AÑO | POBLACIÓN CONECTADA A LA PTAR DE UCUBAMBA | CAUDAL ARD m ³ /s | DBO Kg/día | DQO Kg/día | Sólidos Suspendidos Kg/día |
|------|---|------------------------------|------------|------------|----------------------------|
| 1999 | 225,950 | 0.38 | 4.69 | 9.21 | 7.21 |
| 2000 | 233,950 | 0.39 | 4.85 | 9.53 | 7.46 |
| 2001 | 241,950 | 0.41 | 5.02 | 9.86 | 7.72 |
| 2002 | 524,002 | 0.88 | 10.87 | 21.35 | 16.72 |
| 2003 | 278,105 | 0.47 | 5.77 | 11.33 | 8.87 |
| 2004 | 290,156 | 0.49 | 6.02 | 11.82 | 9.26 |
| 2005 | 302,208 | 0.51 | 6.27 | 12.31 | 9.64 |
| 2006 | 314,259 | 0.53 | 6.52 | 12.80 | 10.02 |
| 2007 | 314,259 | 0.53 | 6.52 | 12.80 | 10.02 |
| 2008 | 326,442 | 0.55 | 6.77 | 13.30 | 10.41 |
| 2009 | 346,219 | 0.58 | 7.18 | 14.11 | 11.04 |
| 2010 | 360,303 | 0.60 | 7.47 | 14.68 | 11.49 |

| | | | | | |
|------|---------|------|------|-------|-------|
| 2011 | 372,837 | 0.63 | 7.73 | 15.19 | 11.89 |
| 2012 | 386,847 | 0.65 | 8.02 | 15.76 | 12.34 |
| 2013 | 413,345 | 0.69 | 8.57 | 16.84 | 13.19 |

Tabla 5. Aporte de caudal y carga contaminante de las ARD en el tiempo de funcionamiento de la PTAR de Ucubamba

Fuente: Elaboración propia según hipótesis planteada.

3.1.2 Aguas Residuales Industriales

3.1.2.1 *Análisis de los efluentes de las industrias dentro del cantón Cuenca*

Para realizar el análisis de los efluentes de las actividades industriales dentro del cantón Cuenca, y que se encuentran conectadas a la red de alcantarillado que lleva los efluentes hasta la PTAR de Ucubamba, se realizó el siguiente procedimiento, de acuerdo a lo establecido en la Metodología, en el punto 2.2.2 Obtención de datos:

- El punto de partida del análisis se toma con el dato proporcionado por ETAPA EP, en el que se establecen que se encuentran registradas 238 conexiones industriales dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba.
- Se determinaron las actividades industriales que se desarrollan dentro del cantón Cuenca, cruzando la información contenida en la Base de Datos del Censo Económico del año 2010, con la información de la sección C “Industrias Manufactureras” del documento de Clasificación Nacional de Actividades Económicas del año 2012; documentos desarrollados por el INEC, éste último con base al CIU versión 4.0.
- Con este cruce de información se obtuvo en primer lugar el tipo de actividades industriales que se desarrollan en el cantón, clasificándolas por el respectivo número CIU. Para facilitar el trabajo y englobar un número mayor de actividades industriales, se trabajó con una aproximación del número CIU de 4 dígitos.
- Luego de obtenido un “universo bruto” de actividades, se pulió la información recolectada, para lo cual, se realizaron diversos tamizajes, teniendo en cuenta los siguientes criterios:
 - Se comparó la información obtenida con la contenida en el grupo de industrias afiliadas a la Cámara de Industrias de Cuenca.
 - Se compararon los CIU’s obtenidos con los que determina la Ordenanza de Uso y Ocupación del Suelo vigente dentro del cantón Cuenca, de acuerdo al impacto que estas tenga en tres tipos: alto, medio y bajo impacto.
 - De acuerdo a la legislación nacional vigente, se tomó la clasificación de actividades a la cual se rige la CGA, la cual clasifica a las actividades CCAN en 4 categorías: I, II, III, IV.
 - Se determinaron las industrias que se encuentran dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba.

Por motivos de confidencialidad y para tener la libertad de utilizar los datos obtenidos, los nombres de las empresas no serán publicados, la información se manejará únicamente de acuerdo al CIU correspondiente.

Luego de realizados los análisis, se obtuvieron los siguientes resultados. :

- El número de industrias dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, corresponden a 238, de las cuales clasificadas por el tipo de impacto son:

| TIPO DE IMPACTO | NÚMERO | PORCENTAJE |
|-----------------|------------|-------------|
| ALTO IMPACTO | 130 | 55% |
| MEDIO IMPACTO | 36 | 15% |
| BAJO IMPACTO | 72 | 30% |
| TOTAL | 238 | 100% |

Tabla 6. Clasificación de las industrias por su impacto
Fuente: Elaboración propia

- Las clasificación de las actividades industriales, de acuerdo al número CIU que se desarrollan dentro del cantón Cuenca, y que se encuentran dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, de acuerdo al tipo de efluentes y al contenido de carga contaminante son:

Alto impacto: consideradas como las actividades industriales que generan efluentes con alto contenido de carga contaminante y de composición y caudal variados, dependiendo del tipo de industria y de la cantidad de producción tengan.

- CIU C1010: Elaboración y conservación de carne.
- CIU C1050: Elaboración de productos lácteos.
- CIU C1074: Elaboración de macarrones, fideos, alcuazuz y productos farináceos similares.
- CIU C1079: Elaboración de otros productos alimenticios N.C.P.
- CIU C1101: Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas.
- CIU C1104: Elaboración de bebidas no alcohólicas; producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas.
- CIU C1312: Tejeduría de productos textiles.
- CIU C1410: Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel.
- CIU C1511: Curtido y adobo de cueros; adobo y teñido de pieles.
- CIU C1920: Fabricación de productos de la refinación del petróleo.
- CIU C2011: Fabricación de sustancias químicas básicas.
- CIU C2012: Fabricación de abonos y compuestos de nitrógeno.
- CIU C2021: Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario.

- CIU C2022: Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares, tintas de
- CIU C2023: Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador.
- CIU C2391: Fabricación de productos refractarios.
- CIU C2392: Fabricación de materiales de construcción de arcilla
- CIU C2393: Fabricación de otros productos de porcelana y de cerámica.
- CIU C2395: Fabricación de artículos de hormigón, de cemento y yeso
- CIU C2410: Industrias básicas de hierro y acero.
- CIU C2431: Fundición de hierro y acero.
- CIU C2511: Fabricación de productos metálicos para uso estructural.

Medio impacto: corresponden en parte a industrias denominadas “secas”, debido a que en sus procesos industriales no producen efluentes; o los mismos son similares a los domésticos:.

- CIU C1702: Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón.
- CIU C1709: Fabricación de otros artículos del papel y cartón.
- CIU C2211: Fabricación de cubiertas y cámaras de caucho; recauchutado y renovación de cubiertas de caucho.
- CIU C2219: Fabricación de otros productos de caucho.
- CIU C2220: Fabricación de productos de plástico.
- CIU C2750: Fabricación de aparatos de uso doméstico.
- CIU C3100: Fabricación de muebles
- CIU C3091: Fabricación de motocicletas.
- CIU C3240: Fabricación de juegos y juguetes.

Bajo impacto: son industrias consideradas como “artesanales” teniendo una generación de efluentes que presentan son similares a los que se producen en las ARD, de este tipo, son pocas las industrias que cuentan con un muestreo realizado:

- CIU C1520: Fabricación de calzado.
- CIU C1811: Actividades de impresión.
- CIU C2310: Fabricación de vidrio y productos de vidrio.
- CIU C2396: Corte, tallado y acabado de la piedra.
- CIU C2512: Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal.
- CIU C2599: Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.
- CIU C2732: Fabricación de otros hilos y cables eléctricos.
- CIU C2790: Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico.
- CIU C2815: Fabricación de hornos y quemadores.

- CIU C2920: Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques.
- CIU C2930: Fabricación de partes, piezas y accesorios para vehículos automotores.

3.1.2.2 Obtención y análisis de los datos históricos de efluentes industriales

Luego de obtener y de clasificar por su número CIU las actividades industriales que se realizan dentro del cantón Cuenca y que cuentan con conexión de alcantarillado dentro del área de influencia de la PTAR de Ucubamba, se procedió a obtener los datos históricos de muestreos de los efluentes, recolectando la información, conforme lo descrito en el punto 2.2.2, con la autorización respectiva, tanto de ETAPA EP, como de la CGA.

Se tomaron fotografías de los resultados de los muestreos incluidos en los archivos de ETAPA EP y en documentos que reposan en el archivo de la CGA, producto de los procesos de Regulación Ambiental que se han venido realizando.

Por lo explicado en el punto anterior, no se pudieron encontrar los muestreos de todas las industrias identificadas, sobre todo en las de impacto medio y bajo, sin embargo, se recolectó toda la información que existía, tanto en el archivo de la CGA, como en el de ETAPA EP y con estos datos obtenidos, se utilizaron para inferir al universo de industrias los resultados, es decir, de las industrias de las que se obtuvieron los resultados, se obtuvieron los promedios para cada tipo y proyectó hacia el universo de las mismas.

Se obtuvo una muestra de 83 industrias, lo que significa que con nivel de significancia del 95%, se tiene un error del 8,7%.

Es importante indicar que en lo referente a los resultados de los muestreos, estos no se realizan de una forma planificada, es decir, no existen muestreos realizados a las industrias cada año, o en una misma época del año, debido en parte a que la legislación obliga realizar un Estudio de Impacto Ambiental para iniciar el proceso de regularización, y Auditorías Ambientales con una periodicidad de 2 años; sumando a esto el hecho de que no existe un plan de monitoreo constante a los efluentes industriales.

Sin embargo, ya que en la metodología descrita se encuentra el hecho de que en el desarrollo del presente trabajo, se utilizarán los números de CIU para clasificar el tipo de actividad industrial, se pudo mantener en los tipos de CIU que existen mayoritariamente en el cantón Cuenca, un histórico o una secuencia anual de datos.

Se procesaron los datos obtenidos, cuya información se encuentra en el Anexo 2. De esta forma, se pudo conseguir una secuencia anual de los resultados, clasificados por el tipo de CIU y ubicando si se encuentra dentro de alguno de los tres tipos de impacto identificado.

3.1.3 Afluente de la PTAR de Ucubamba

Los datos que se obtienen en la entrada del afluente en la PTAR de Ucubamba, son obtenidos mediante muestreos periódicos, en los que se analiza el caudal que ingresa y la calidad del agua.

El monitoreo se lo realiza desde que empezó el funcionamiento de la PTAR de Ucubamba, por lo que la cantidad de datos obtenida es significativa y de gran riqueza, puesto que los datos que se obtienen provienen de una media mensual de las concentraciones, a partir de la cual se calcula la media anual, que son los datos tomados; sin embargo, éstos no se han relacionado con los efluentes que existen en la ciudad de Cuenca, por lo que su análisis estadístico representa únicamente el comportamiento de la PTAR de Ucubamba.

Los datos fueron obtenidos de los documentos que se mencionaron el punto 2.2.2, realizados por el Ing. Galo Durazno, Jefe de la PTAR de Ucubamba en el año 2013, cuyos resultados son:

| AÑO | CAUDAL l/s | Caudal m ³ /s | Concentraciones | | |
|------|---------------|-----------------------------|-----------------|-------------|------------------------------|
| | | | DBO mg/l | DQO mg/l | Sólidos Suspendidos. mg/l |
| 1999 | 1263 | 1.263 | | | |
| 2000 | 1330 | 1.330 | 71 | 226 | 38 |
| 2001 | 1143 | 1.143 | 77 | 246 | 48 |
| 2002 | 1251 | 1.251 | 80 | 227 | 38 |
| 2003 | 1253 | 1.253 | 93 | 224 | 31 |
| 2004 | 1094 | 1.094 | 111 | 259 | 33 |
| 2005 | 1151 | 1.151 | 93 | 219 | 30 |
| 2006 | 1119 | 1.119 | 100 | 248 | 32 |
| 2007 | 1208 | 1.208 | 97 | 240 | 23 |
| 2008 | 1213 | 1.213 | 85 | 205 | 26 |
| 2009 | 1088 | 1.088 | 109 | 261 | 23 |
| 2010 | 1166 | 1.166 | 118 | 293 | 34 |
| 2011 | 1074 | 1.074 | - | - | - |
| 2012 | 1361 | 1.361 | 97 | 235 | 30 |
| 2013 | 1538 | 1.538 | | | |

Tabla 7. Datos anuales de caudal y concentraciones en el afluente de la PTAR de Ucubamba

Fuente: Durazno G, 2013, Concentraciones 2012 PTAR Ucubamba.



Gráfico 3. Comportamiento del caudal de entrada a la PTAR de Ucubamba.

Fuente: Varios documentos varios de consulta ETAPA EP.

Considerando la tendencia de los datos de entrada de las aguas residuales a la PTAR de Ucubamba, se espera que alcance el caudal de diseño medio en un periodo mayor a los 20 años, es decir en el año 2033. Sin embargo, para que alcance el caudal de diseño máximo se espera que tendrán que pasar aproximadamente 25 años. Estos resultados son obtenidos de acuerdo a la hipótesis que plantea que la suma de los caudales de los distintos sectores, es igual al caudal de entrada a la PTAR de Ucubamba.

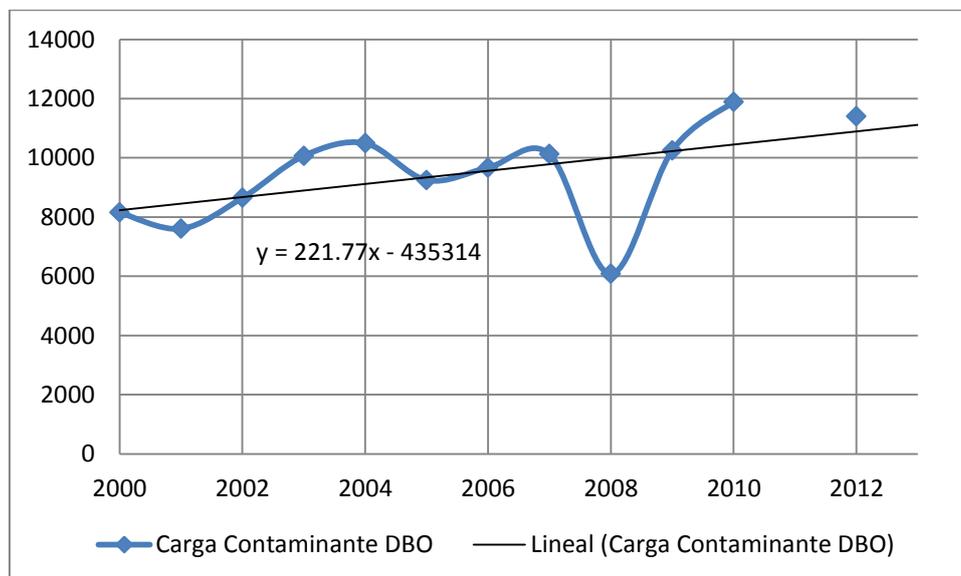


Gráfico 4. Carga Contaminante DBO ingreso PTAR de Ucubamba.

Fuente: Varios documentos varios de consulta ETAPA EP.

La carga de DBO que ingresa actualmente en la PTAR de Ucubamba, se encuentra en un valor de 10700,10 Kg/día, con una máxima de 16665,78 Kg/día registrada en XXX.

Este valor es inferior al parámetro de diseño de carga máxima de DBO de 39434 Kg/día. Del análisis de los datos históricos de Carga Contaminante presentada en la PTAR de Ucubamba, se tiene que con la actual tendencia de crecimiento, no alcanzará los niveles de diseño, ya que el valor proyectado es muy superior al actual de DBO.

Se toma para el análisis únicamente la carga de DBO, debido a que es el parámetro de diseño principal para la primera laguna de la PTAR de Ucubamba, es decir la laguna que recepta las aguas residuales crudas.

Para guardar una relación entre el caudal y la concentración de las aguas residuales producidas en las industrias, se tomaron los datos de la PTAR de Ucubamba en los mismo meses en lo que se generaron los efluentes industriales.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.2.1 Aplicación del software Crystal Ball

Crystal Ball es un software desarrollado por Oracle, que es la aplicación líder basada en hojas de cálculo para elaborar modelos predictivos, previsión, simulación y optimización. Brinda una perspectiva inigualable de los factores críticos que afectan el riesgo. (Web: <http://www.oracle.com/lad/products/applications/crystalball/overview/index.html>)

El Software Crystal Ball es una herramienta analítica que ayuda a tomar decisiones al permitir utilizar simulaciones en modelos de hoja de cálculo. Los pronósticos resultantes de estas simulaciones ayudan a cuantificar las áreas de riesgo para proveer a aquellos que toman decisiones la mayor cantidad de información posible y poder así respaldar decisiones inteligentes (Fernández, 2008).

El Crystal Ball utiliza el proceso determinado Monte Carlo, con el que mostrará los resultados en un gráfico de pronósticos en el cual se puede observar el rango entero de resultados posibles y la profundidad de alcanzar cada uno de ellos (Fernández, 2008).

3.2.2 Resultados obtenidos

Luego de obtener los datos de las ARD y de las aguas residuales de la PTAR de Ucubamba, se procedió a realizar el análisis de las ARI, para la obtención de los resultados que permitan evaluar la validez de las hipótesis planteadas.

Se empezó obteniendo los datos de las industrias, infiriendo respecto la muestra que se tomó, tanto en caudal y concentración, para encontrar el total del universo de industrias que se encuentran dentro del cantón Cuenca.

En base a la hipótesis establecida, se modelaron los datos obtenidos, ordenándolos a través del tiempo en el software Cristal Ball, a partir del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

3.2.2.1 Caudales

Caudal de la PTAR de Ucubamba

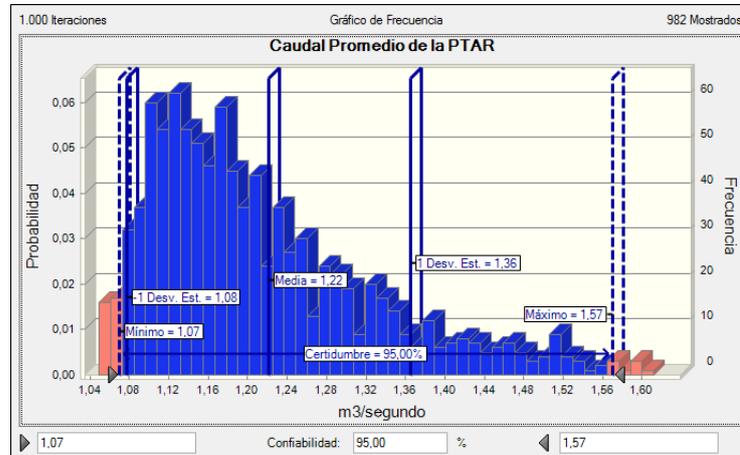


Gráfico 5. Caudal Promedio PTAR de Ucubamba.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio el caudal de entrada en la PTAR de Ucubamba sea de aproximadamente **1,22 m³/s**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre **[1,07 m³/s – 1,57 m³/s]**, este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente **0,14 m³/s**.

Cómo se puede notar en el gráfico, la tendencia de los datos es hacia la izquierda, donde se presentan los mayores picos, con lo cual se deduce que la proyección de los caudales tienden a ser menores que la media.

Caudal doméstico:

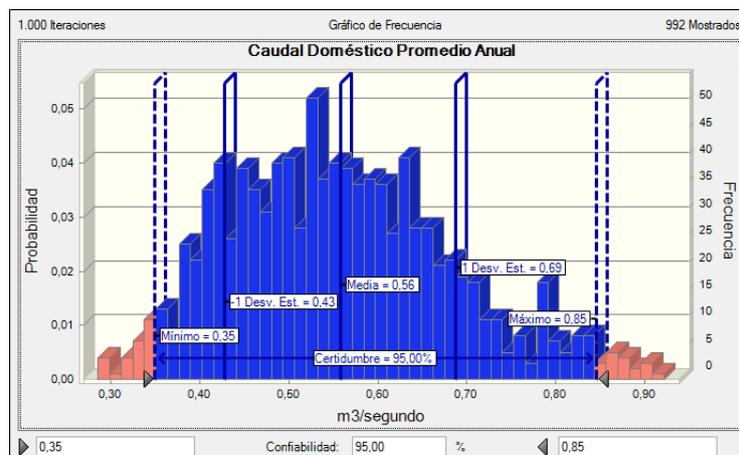


Gráfico 6. Caudal doméstico Promedio Anual

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio el caudal de ARD sea de aproximadamente **$0,56 \text{ m}^3/\text{s}$** . Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre **$[0,35 \text{ m}^3/\text{s} - 0,85 \text{ m}^3/\text{s}]$** , este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente **$0,13 \text{ m}^3/\text{s}$** .

El caudal doméstico presenta una distribución normal, lo cual se debe a los parámetros iniciales que se dieron para el análisis y cálculo de los datos de Carga Contaminante, debido a que se mantiene constante la concentración, variando únicamente la población, cuya tasa de crecimiento conforme los datos estadísticos que se tomaron del INEC, es constante para cada periodo entre los censos.

Caudal industrial:

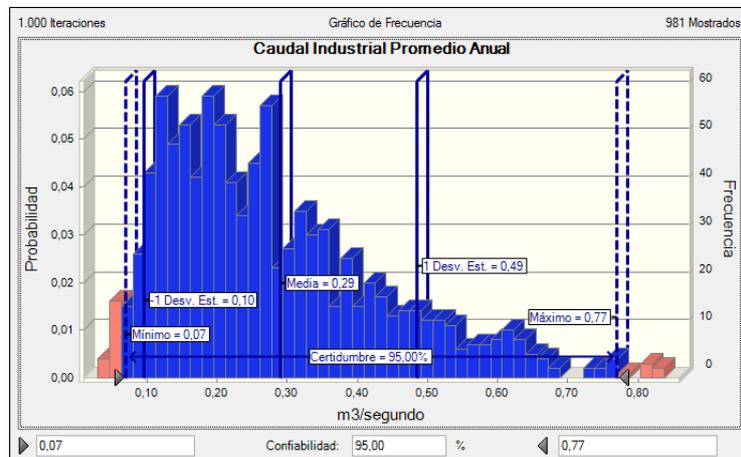


Gráfico 7. Caudal Industrial promedio Anual

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio el caudal de ARI sea de aproximadamente **$0,29 \text{ m}^3/\text{s}$** . Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre **$[0,07 \text{ m}^3/\text{s} - 0,77 \text{ m}^3/\text{s}]$** , este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente **$0,20 \text{ m}^3/\text{s}$** .

En el gráfico se nota que la tendencia de la probabilidad se mantiene hacia la izquierda, estando en una mayor probabilidad que se produzcan los caudales menores a la media.

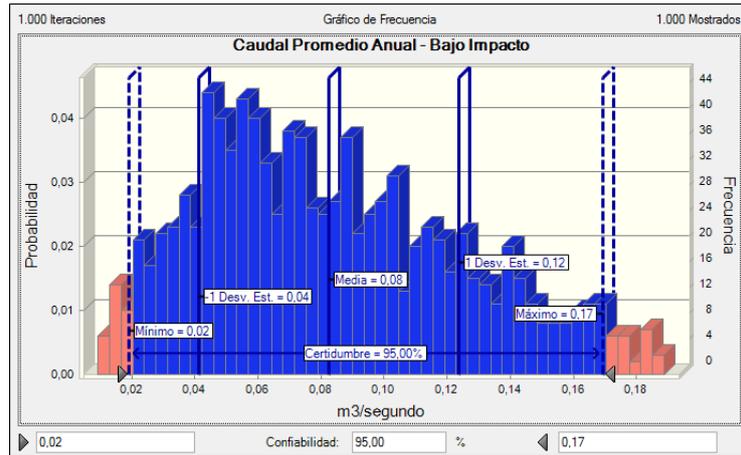


Gráfico 8. Caudal Promedio anual Industrias de bajo impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio el caudal de ARI de bajo impacto sea de aproximadamente $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre $[0,02 \text{ m}^3/\text{s} - 0,17 \text{ m}^3/\text{s}]$, este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$.

El gráfico de distribución nos indica que el caudal de este tipo de industrias presenta una distribución normal, lo cual se puede deber a que estas industrias presentan una descarga de aguas residuales similares a las de las ARD, siendo homogénea, independientemente del tipo de producción que realicen.

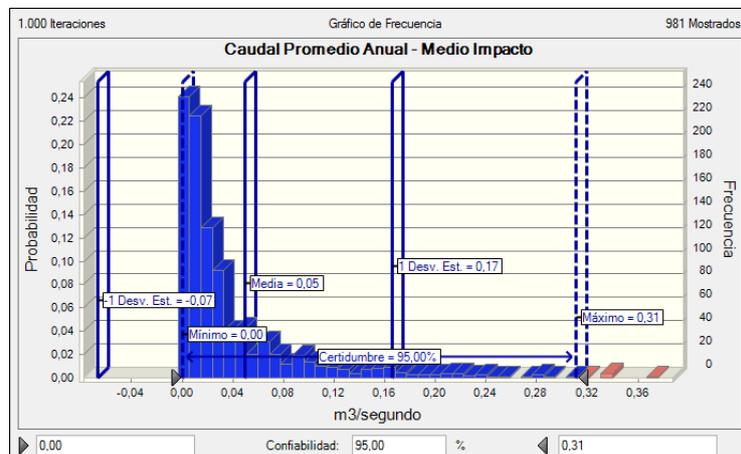


Gráfico 9. Caudal promedio anual Industrias de medio impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio el caudal de ARI de medio impacto sea de aproximadamente $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre $[0,00 \text{ m}^3/\text{s} - 0,31 \text{ m}^3/\text{s}]$, este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$.

La distribución resultante tiende a desplazarse hacia la izquierda de la media, lo que nos indica que existe una mayor probabilidad de presentar valores menores a la misma.

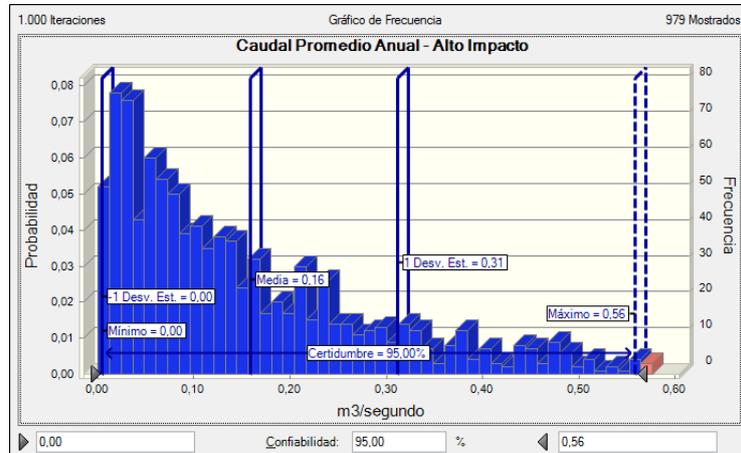


Gráfico 10. Caudal Promedio Anual Industrias de alto impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio el caudal de ARI de alto impacto sea de aproximadamente **0,16 m³/s**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre **[0,00 m³/s – 0,56 m³/s]**, este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente **0,15 m³/s**.

La distribución nos muestra una tendencia mayor del caudal hacia la izquierda, lo que indica que existe una mayor posibilidad de que estos se encuentren por debajo de la media.

Caudal de servicios:

El caudal de agua para servicios se obtuvo aplicando la Ecuación 10, este presenta una distribución normal, que puede deberse al tipo de descarga, ya que ésta, según lo expresado en el numeral 2.1.2.3, se realiza de forma periódica y mantiene una regularidad.

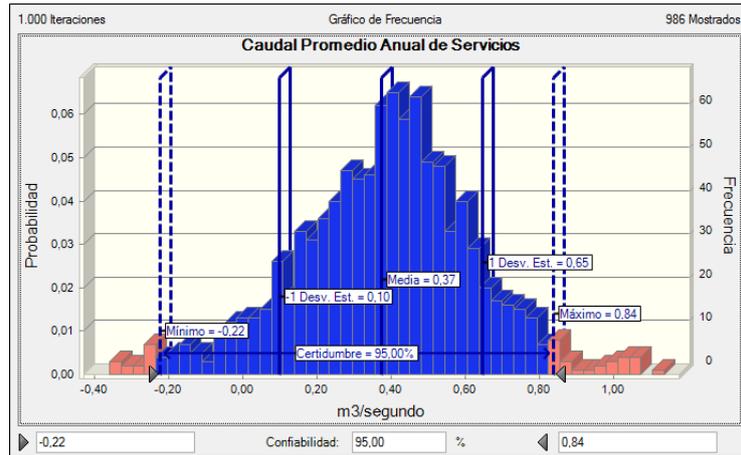


Gráfico 11. Caudal Promedio Anual de Servicios.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio el caudal de ARS sea de aproximadamente **0,37 m³/s**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, este caudal está entre **[0,00 m³/s – 0,84 m³/s]**, este rango de variación corresponde a una desviación estándar del caudal de aproximadamente **0,28 m³/s**.

3.2.2.2 Concentraciones

Industrias de bajo impacto:

Sólidos Suspendedos:

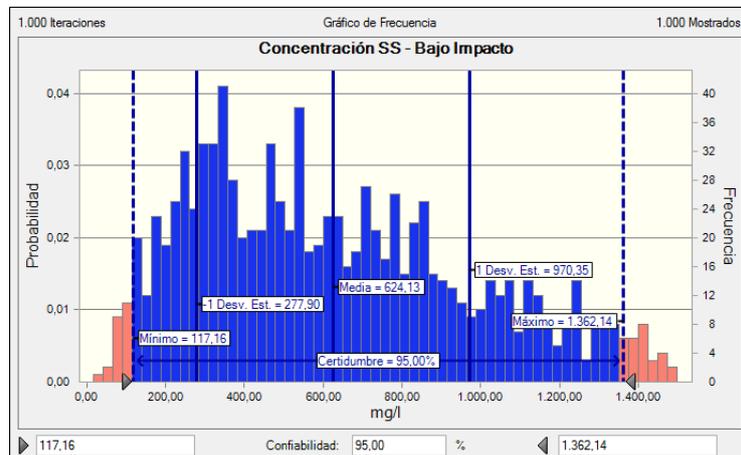


Gráfico 12. Concentración SS Industrias de bajo impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de SS en las industrias de bajo impacto sea de aproximadamente **624,13 mg/l**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de SS está entre **[117,16 mg/l – 1362,14 mg/l]**, este rango de

variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **346,22 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley⁵, la descarga máxima permitida de SS es de **220 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

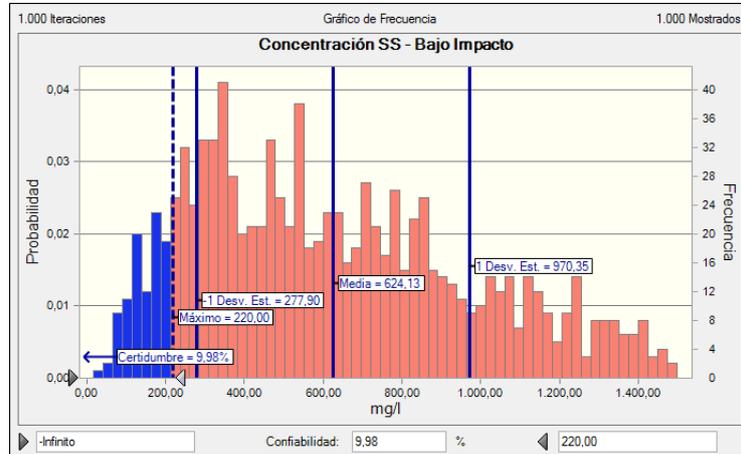


Gráfico 13. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS de industrias de bajo impacto.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball

Existe una probabilidad de aproximadamente el **90,02%** de que la concentración promedio de SS en las industrias de bajo impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **9,98%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 220 mg/l.

La distribución que se obtiene se asemeja a una distribución normal con tendencia a la izquierda, es decir los picos más altos se presentan en valores menores a la media. Los valores que se encuentran fuera del rango de confianza son bajos, por lo que tienen poca probabilidad de ocurrencia.

⁵ La legislación vigente, se tomó de acuerdo a los expresado en la Tabla No. 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, del Anexo 1 del Libro VI: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.

Demanda Química de Oxígeno:

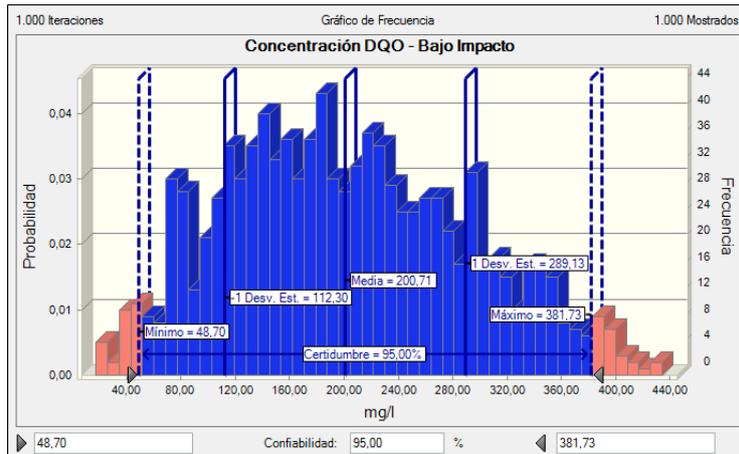


Gráfico 14. Concentración de DQO en Industrias de bajo impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la concentración de DQO en las industrias de bajo impacto sea de aproximadamente **200,71 mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración está entre **[48,70 mg/l – 381,73 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **88,42 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DQO es de **500 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

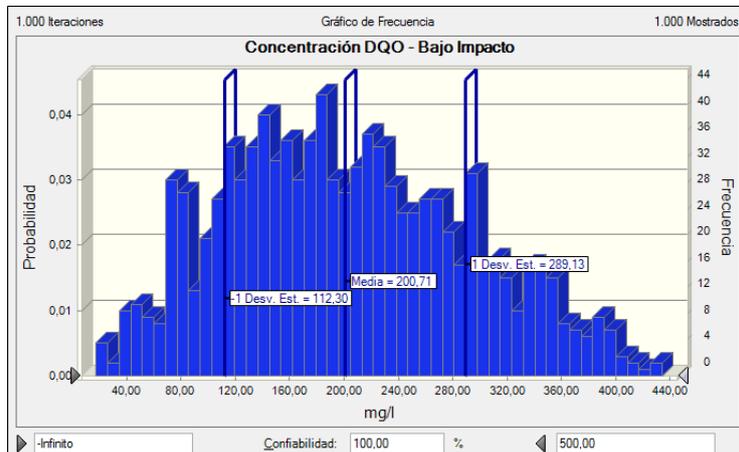


Gráfico 15 Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO de industrias de bajo impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **0,00%** de que la concentración promedio de DQO en las industrias de bajo impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **100,00%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 500 mg/l.

La distribución se asemeja a la normal, con los picos más altos cercanos a la media, los valores que se encuentran fuera del rango de confianza son bajos, por lo que tienen poca probabilidad de ocurrencia.

Lo que respecta a la normativa, se tiene que existe una posibilidad nula de que este tipo de industrias descarguen una concentración de DQO mayor a la norma, lo que se debe principalmente a que sus efluentes son similares a los de las ARD, sin embargo, no contienen muchos de los elementos utilizados en los hogares que pueden aportar con DQO.

Demanda Bioquímica de Oxígeno:

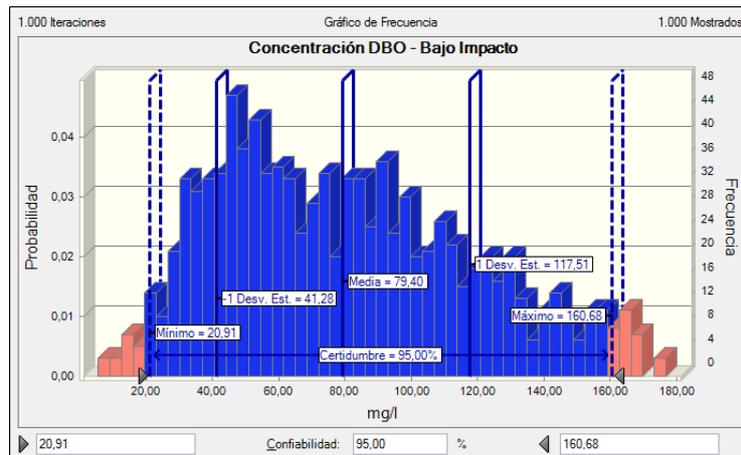


Gráfico 16. Concentración de DBO de Industrias de bajo impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de DBO en las industrias de bajo impacto sea de aproximadamente **79,40, mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de DBO está entre **[20,91 mg/l – 160,68 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **38,11 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DBO es de aproximadamente **250 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

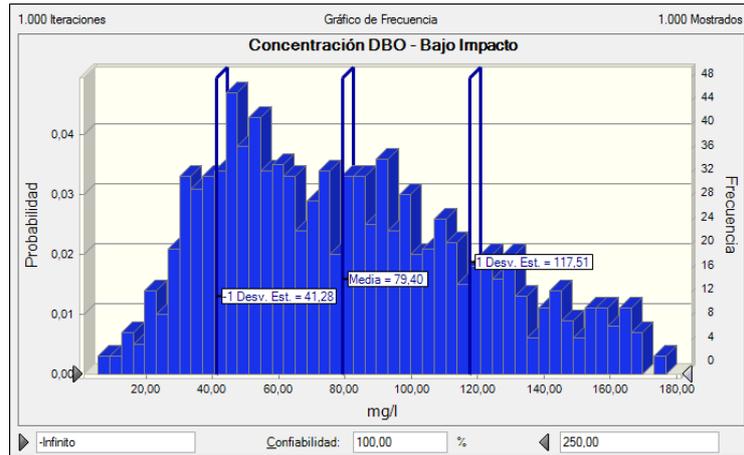


Gráfico 17. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO de industrias de bajo impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **0,00%** de que la concentración promedio de DBO en las industrias de bajo impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **100,00%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 250 mg/litro.

La probabilidad se asemeja poco a una distribución normal, con la tendencia hacia la izquierda, además que el pico más alto no se encuentra cercano a la media. Dentro del rango de confianza se encuentran los picos altos, por lo que tienen probabilidad de ocurrencia. El tipo de actividad que se desarrolla en este tipo de industrias permite tener una probabilidad del 100% de que se cumpla con la norma de vertido de DBO al sistema de alcantarillado.

Industrias de medio impacto:

Sólidos Suspendidos:

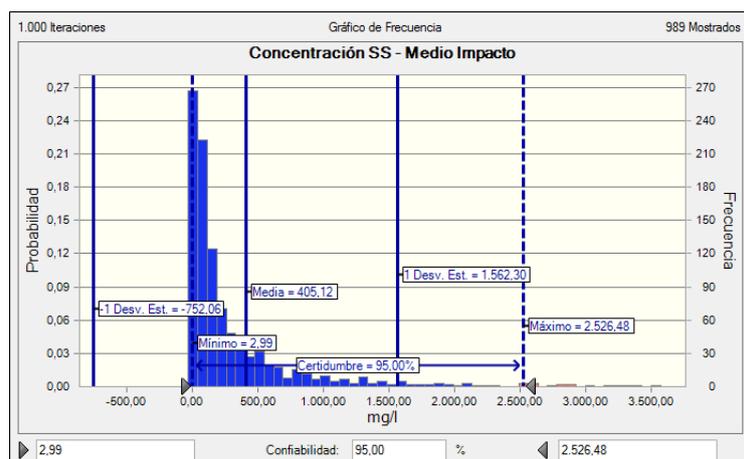


Gráfico 18. Concentración de SS en industrias de medio impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de SS en las industrias de medio impacto sea de

aproximadamente **405,12 mg/l**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de SS está entre **[2,99 mg/l – 2526,48 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **1157,18 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de SS es de **220 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

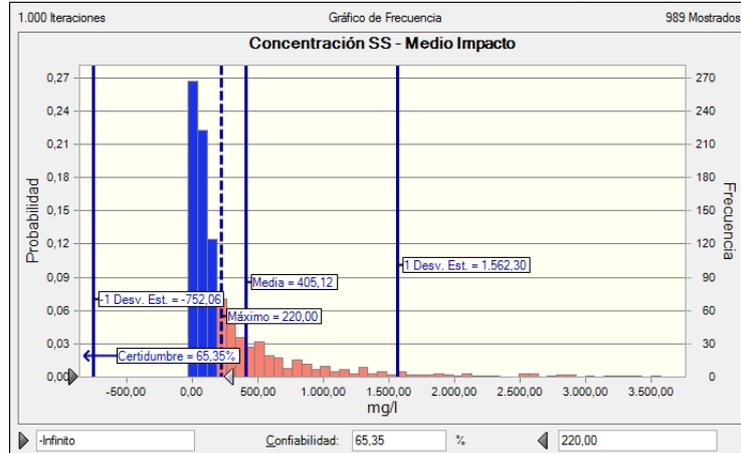


Gráfico 19. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS en industrias de medio impacto.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **34,65%** de que la concentración promedio de SS en las industrias de medio impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **65,35%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 220 mg/l.

La distribución no se ajusta a una normal, lo cual se debe a la poca cantidad de datos encontrados, debido a que este tipo de industrias son denominadas secas y no se tiene un análisis constante de los efluentes.

Demanda Química de Oxígeno:

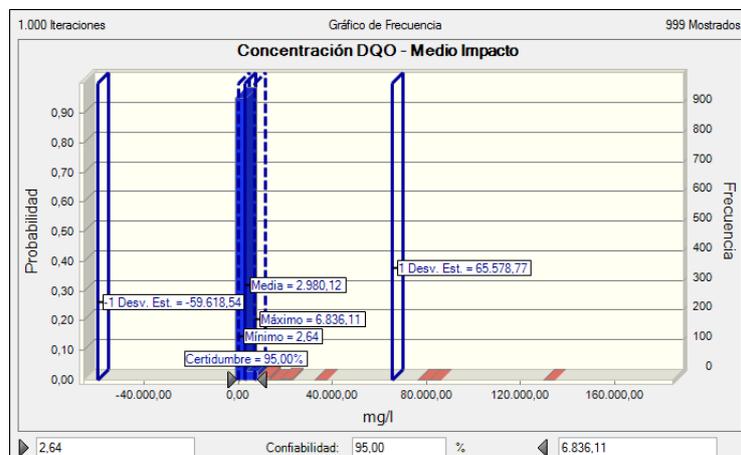


Gráfico 20. Concentración de DQO en industrias de medio impacto.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la concentración de DQO en las industrias de medio impacto sea de aproximadamente **2980,12 mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de DQO este entre **[2,64 mg/l – 6836,11 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **62598,65 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DQO es de **500 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

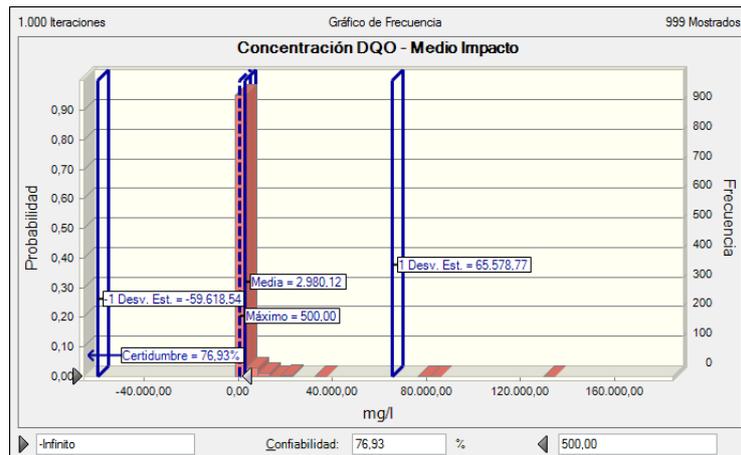


Gráfico 21. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO en industrias de medio impacto.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **23,07%** de que la concentración promedio de DQO en las industrias de medio impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **76,93%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 500 mg/l.

El gráfico de distribución no se ajusta a una normal, estando con tendencia a la izquierda. Esto se debe a que este tipo de industrias son denominadas secas y no se tiene un análisis constante de los efluentes. Los valores que se encuentran fuera del rango de confianza tienen picos bajos, alejados de la media. Lo que respecta al cumplimiento de la normativa, se tiene que la media se encuentra fuera del rango de confianza, por lo que la probabilidad de incumplimiento aumenta.

Demanda Bioquímica de Oxígeno:

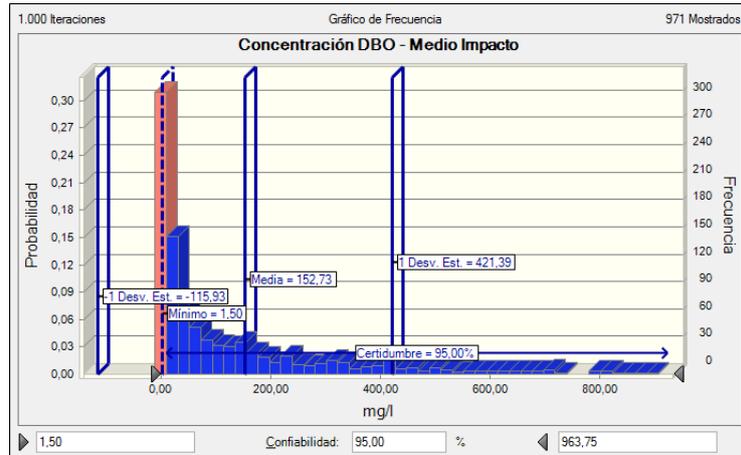


Gráfico 22. Concentración de DBO en Industrias de medio impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de DBO en las industrias de medio impacto sea de aproximadamente **152,73 mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de DBO está entre **[1,50 mg/l – 963,75 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **268,66 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DBO es de aproximadamente **250 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

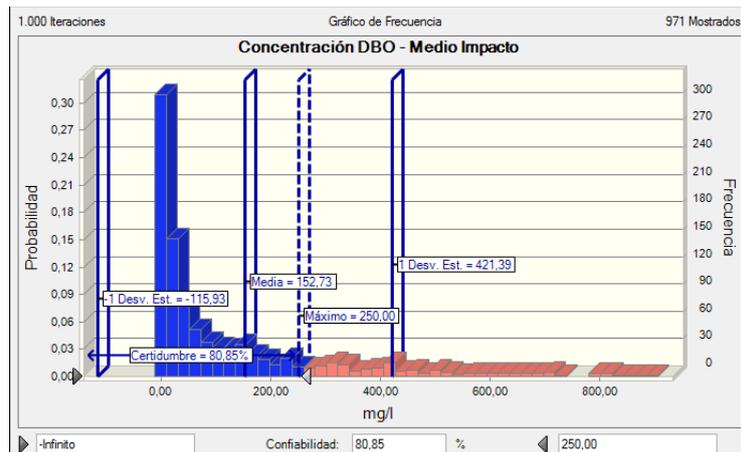


Gráfico 23. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO en industrias de medio impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **19,15%** de que la concentración promedio de DBO en las industrias de medio impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **80,85%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 250 mg/litro.

El gráfico de distribución no se ajusta a una normal, estando con tendencia a la izquierda, agrupados en el pico más alto alejado de la media hacia la izquierda. Los valores que se encuentran fuera del rango de confianza tienen picos bajos.

Industrias de Alto impacto Sólidos Suspendidos:

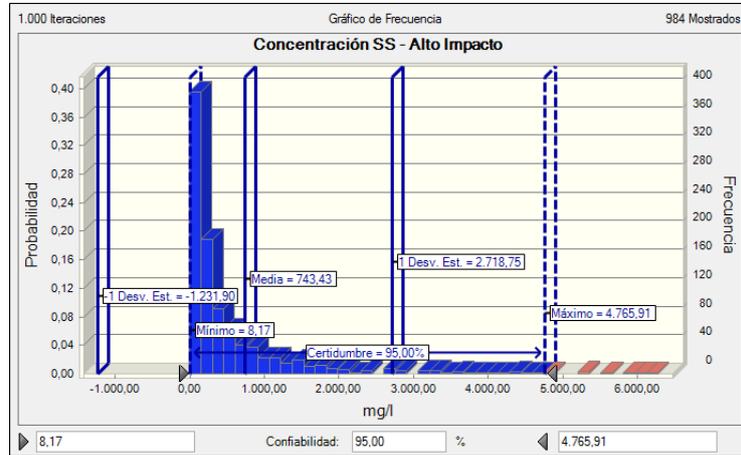


Gráfico 24. Concentración de SS en industrias de alto impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de SS en las industrias de alto impacto sea de aproximadamente **743,43 mg/l**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de SS está entre **[8,17 mg/l – 4765,91 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **1975,32 mg/l**.

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de SS es de **220 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

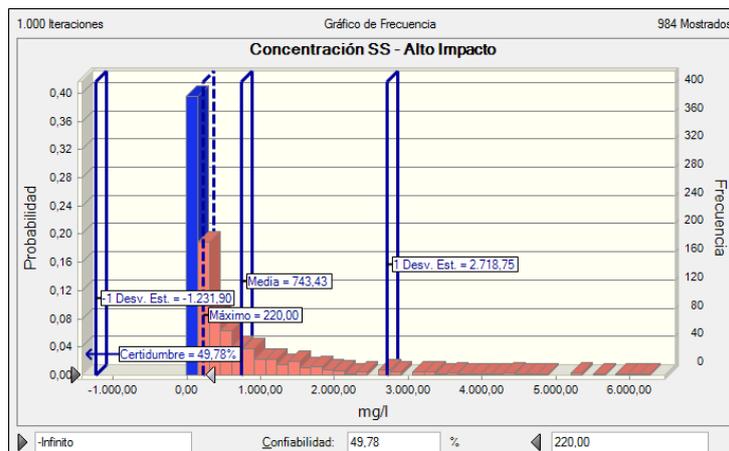


Gráfico 25. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de SS en industrias de alto impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **50,22%** de que la concentración promedio de SS en las industrias de alto impacto incumpla con lo establecido en la

normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **49,78%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 220 mg/l.

La distribución de no se ajusta a una normal, estando el pico más alto dentro del rango de confianza. Los valores cercanos a la media presentan picos que suben conforme se alejan hacia la izquierda.

Demanda Química de Oxígeno:

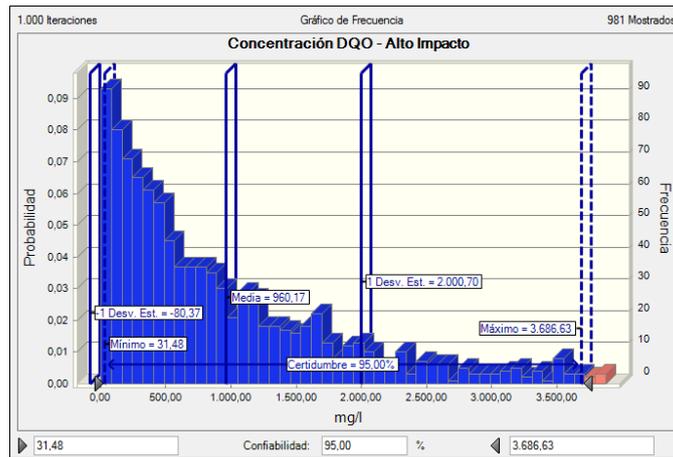


Gráfico 26. Concentración de DQO en Industria de alto impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la concentración de DQO en las industrias de alto impacto sea de aproximadamente **960,17 mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de DQO está entre **[31,48 mg/l – 3686,63 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **1040,53 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DQO es de **500 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

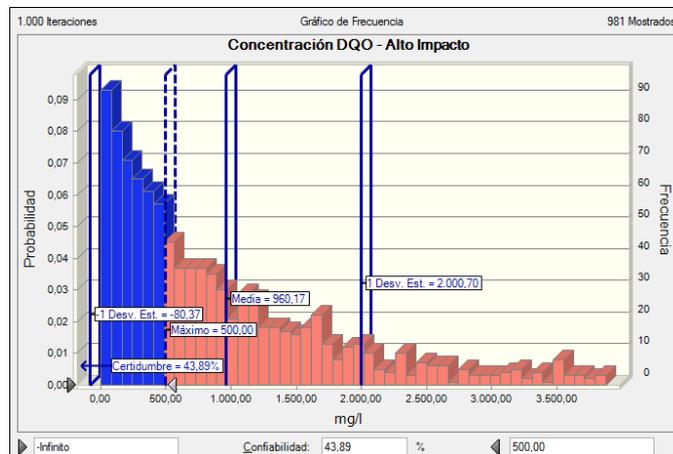


Gráfico 27. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DQO en industrias de alto impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **56,11%** de que la concentración promedio de DQO en las industrias de alto impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **43,89%** de que las descargas que realicen las industrias de bajo impacto, sean menor a 500 mg/l.

La distribución no se ajusta a una normal, además ésta se aproxima a la izquierda, donde los picos más altos se encuentran alejados de la media hacia la izquierda dentro del rango de confianza del 95%.

Demanda Bioquímica de Oxígeno:

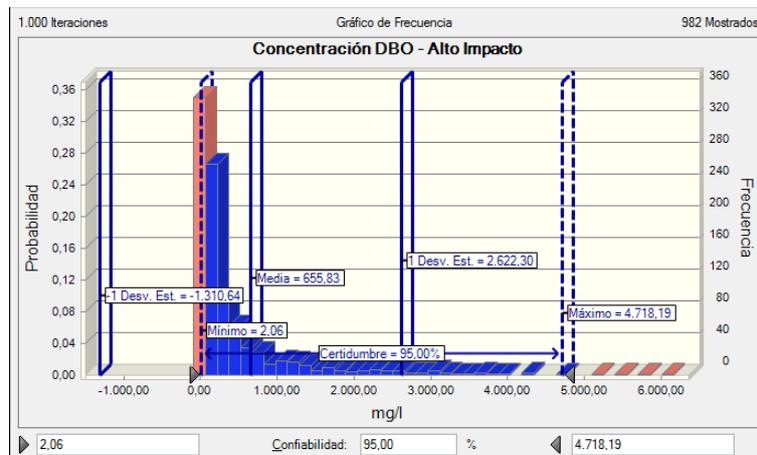


Gráfico 28. Concentración de DBO en Industrias de alto impacto.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la concentración de DBO en las industrias de alto impacto sea de aproximadamente **655,83 mg/litro**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta concentración de DBO está entre **[2,06 mg/l – 4718,19 mg/l]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de las concentraciones es de aproximadamente **1966,47 mg/l**

De acuerdo a lo establecido en la ley, la descarga máxima permitida de DBO es de aproximadamente **250 mg/l**. Contrastando con esta información observemos la figura siguiente:

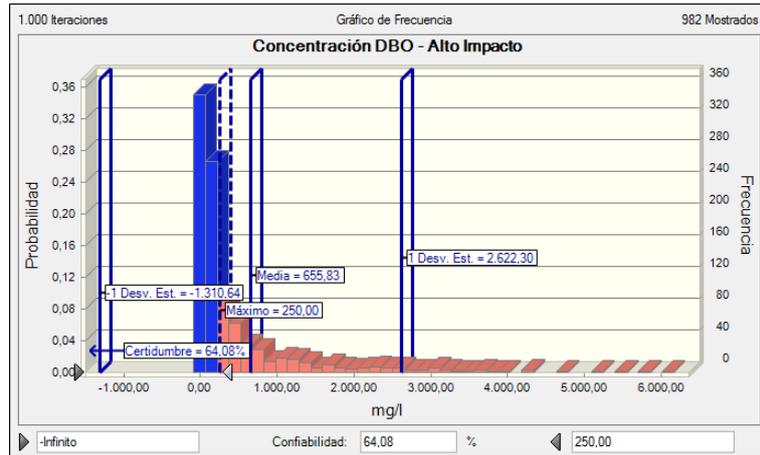


Gráfico 29. Probabilidad de incumplimiento de la normativa de DBO en industrias de alto impacto.
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

Existe una probabilidad de aproximadamente el **35,92%** de que la concentración promedio de DBO en las industrias de alto impacto incumpla con lo establecido en la normativa ambiental nacional, o lo que es lo mismo hay una probabilidad del **64,08%** de que las descargas que realicen las industrias de alto impacto, sean menor a 250 mg/litro.

Dentro del rango de confianza del 95% se encuentran los picos más altos hacia la izquierda, cercanos a la media; La misma que se encuentra fuera del rango de confianza para el cumplimiento de la normativa, lo que se ve reflejado en el porcentaje de incumplimiento que tiene mayor probabilidad de presentarse.

3.2.2.3 Carga contaminante de DBO

Carga contaminante de DBO de la PTAR de Ucubamba:

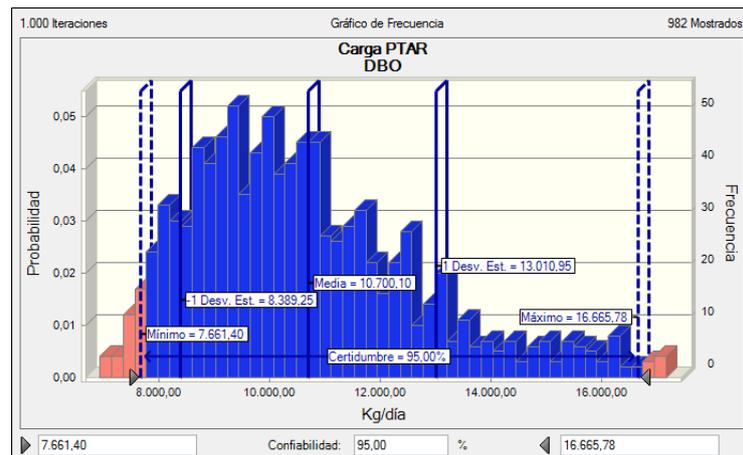


Gráfico 30. Carga Contaminante de DBO en la PTAR de Ucubamba
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de DBO de la PTAR de Ucubamba sea de aproximadamente **10700,10 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del

95%, esta carga contaminante está entre **[7661,40 kg/día – 16665,78 kg/día]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **2310,85 kg/día**.

La distribución de la carga contaminante de la PTAR de Ucubamba se pudiera ajustar a una distribución normal con tendencia hacia la izquierda, con los picos más altos dentro del rango del 95% de confianza y cercanos a la media hacia la izquierda, lo que significa que existe una mayor probabilidad de presencia de menores caudales a la media.

Carga contaminante de DBO de las ARD:

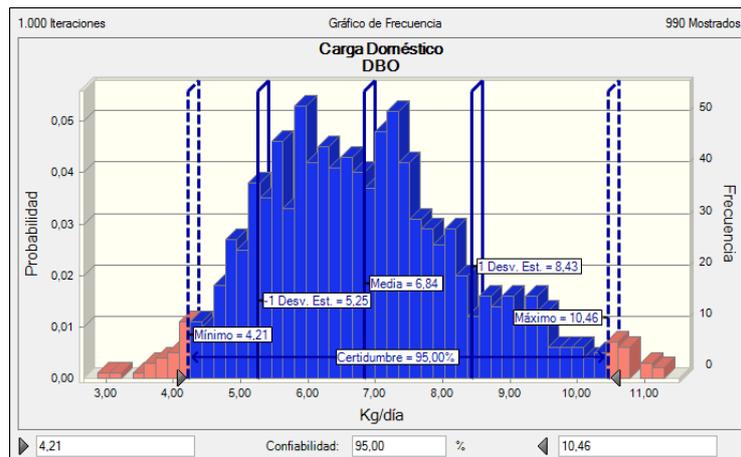


Gráfico 31. Carga contaminante de DBO de las ARD

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de DBO de las ARD sea de aproximadamente **6,84 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[4,21 kg/día – 10,46 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **1,59 kg/día**.

Carga contaminante de DBO de las ARS:

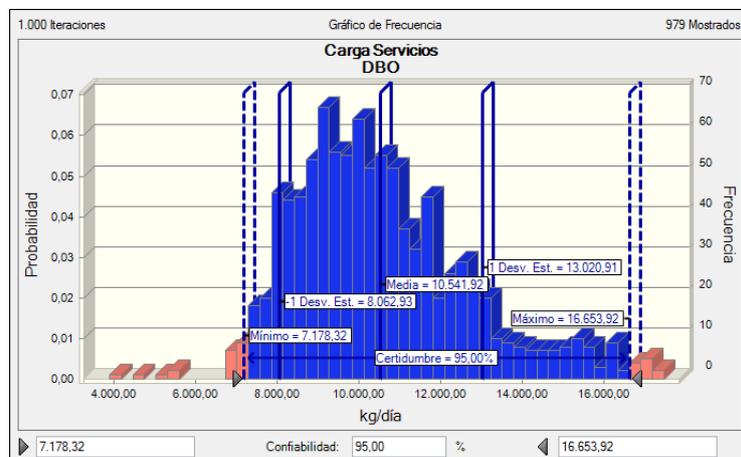


Gráfico 32. Carga contaminante de DBO de las ARS.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de DBO de las ARS sea de aproximadamente **10541,92 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[7178,32 kg/día – 16653,92 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **2478,99 kg/día**.

La distribución de las ARD se puede ajustar a una distribución normal, con un los picos más altos cercanos a la media y dentro del parámetro de confianza del 95%, la tendencia de la curva es de correrse hacia la derecha, pero con picos de menor incidencia.

Carga contaminante de DBO de las ARI

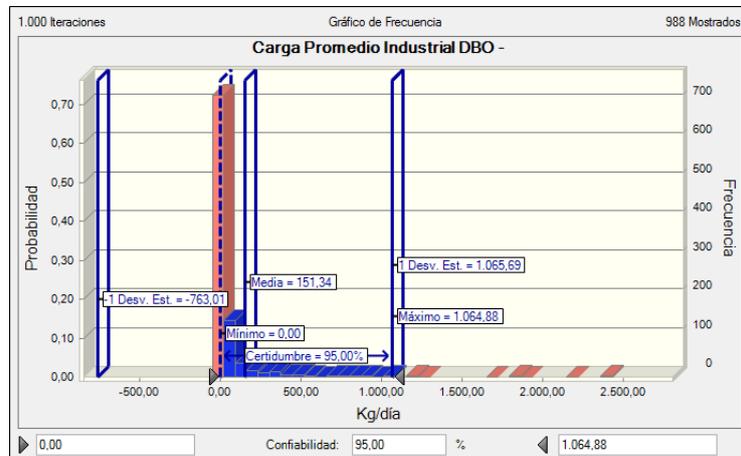


Gráfico 33. Carga contaminante de DBO de las ARI

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de las ARI sea de aproximadamente **151,34 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de DBO está entre **[0,00 kg/día – 1064,88 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **914,35 kg/día**.

La distribución no se aproxima a una normal, presentando el pico más alto fuera del rango de confianza del 95%, y que dentro de este rango se presentan picos bajos cercanos a la media.

Carga contaminante de DBO de las Industrias de alto impacto

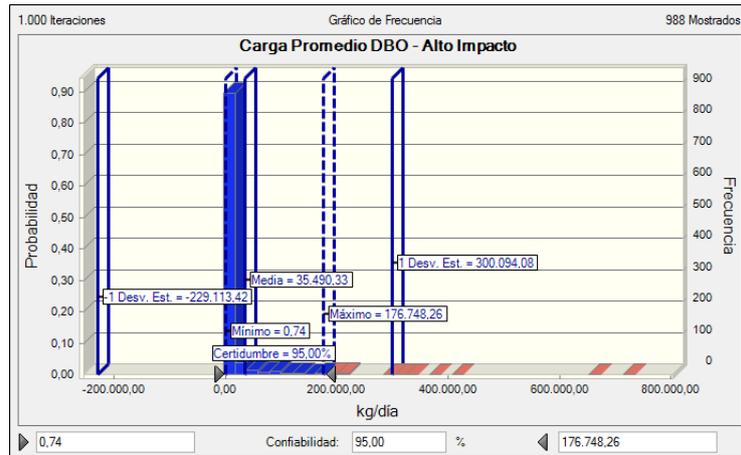


Gráfico 34. Carga contaminante de DBO de las ARI de alto impacto

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de las ARI de alto impacto sea de aproximadamente **35490,33 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[0,74 kg/día – 176748,26 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **264603,75 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto dentro del rango de confianza del 95% y cercano a la media, lo que nos indica una tendencia a que se ocurran las mayores cargas contaminantes.

Carga contaminante de DBO de las Industrias de medio impacto

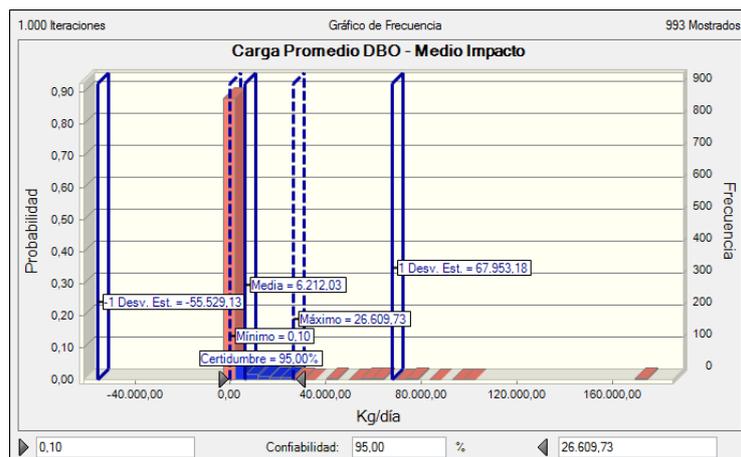


Gráfico 35. Carga contaminante de DBO de las ARI de medio impacto

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de DBO de las ARI de medio impacto sea de aproximadamente **6212,03 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del

95%, esta carga contaminante está entre **[0,10 kg/día – 26609,73 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **61741,15 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto fuera del rango de confianza del 95%, sin embargo, este se encuentra cercano a la media.

Carga contaminante de DBO de las Industrias de bajo impacto:

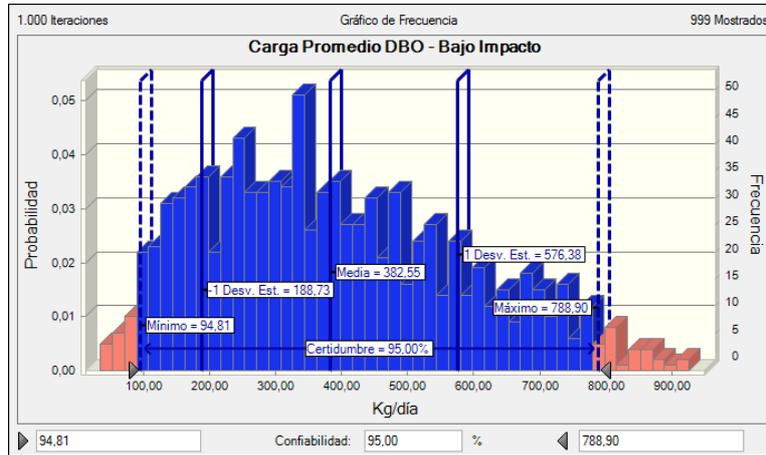


Gráfico 36. Carga contaminante de DBO de las ARI de bajo impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de las ARI de bajo impacto sea de aproximadamente **382,55 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[94,81 kg/día – 788,90 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **193,83 kg/día**.

La distribución pudiera ajustarse levemente a una normal, presentando los picos más altos dentro del rango de confianza del 95% y cercanos a la media.

3.2.2.4 Carga contaminante de DQO

Carga contaminante de DQO de la PTAR de Ucubamba:

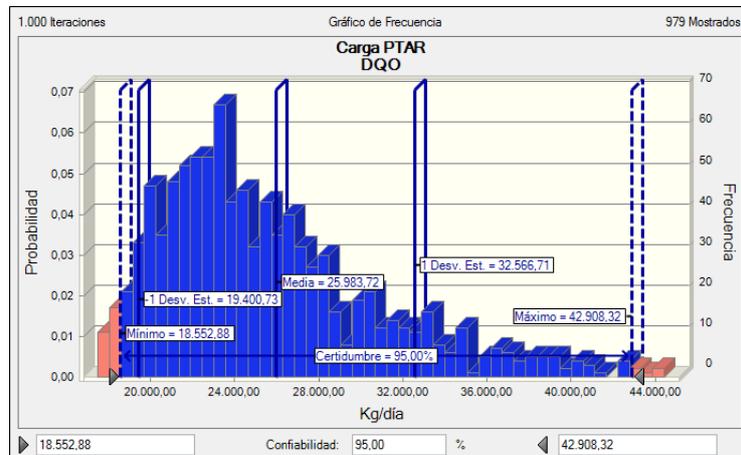


Gráfico 37. Carga Contaminante de DQO en la PTAR de Ucubamba
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de DQO de la PTAR de Ucubamba sea de aproximadamente **25983,72 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de DQO está entre **[18552,88 kg/día – 42908,32 kg/día]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **6582,99 kg/día**.

La distribución de la carga contaminante de la PTAR de Ucubamba se pudiera ajustar a una distribución normal con tendencia hacia la izquierda para la mayor cantidad de picos altos dentro del rango del 95% de confianza y cercanos a la media, lo que significa que existe una mayor probabilidad de presencia de menores cargas que la media.

Carga contaminante de DQO de las ARD:

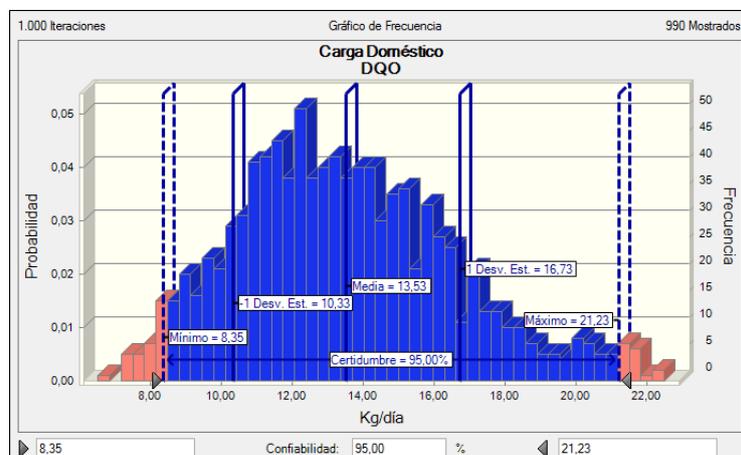


Gráfico 38. Carga contaminante de DQO de las ARD
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARD sea de aproximadamente **13,53 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de DQO está entre **[8,35 kg/día – 21,23 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **3,20 kg/día**.

La distribución puede ajustarse a una normal, con los picos más altos cerca del centro de la curva de probabilidad.

Carga contaminante de DQO de las ARS:

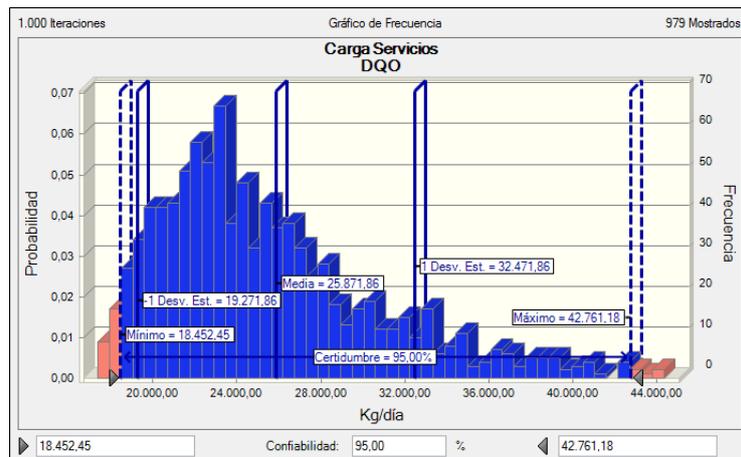


Gráfico 39. Carga contaminante de DQO de las ARS.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARS sea de aproximadamente **25871,86 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de DQO está entre **[18452,45 kg/día – 42761,18 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **6600,00 kg/día**.

La distribución de las ARD se puede ajustar a una distribución normal, con una caída con menos pendiente hacia la derecha, con los picos más altos cercanos a la media, hacia la izquierda y dentro del parámetro de confianza del 95%.

Carga contaminante de DQO de las ARI

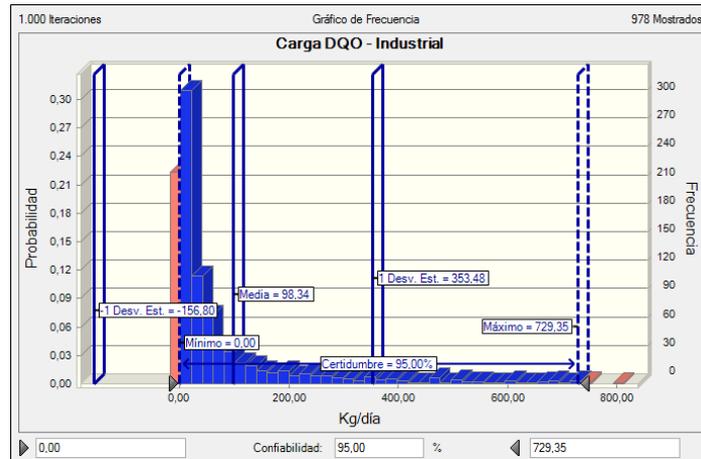


Gráfico 40. Carga contaminante de DQO de las ARI

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARI sea de aproximadamente **98,34 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de DQO está entre **[0,00 kg/día – 729,35 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **255,14 kg/día**.

La distribución no se aproxima a una normal, presentando el pico más alto en el límite del rango de confianza del 95% hacia la izquierda.

Carga contaminante de DQO de las Industrias de alto impacto

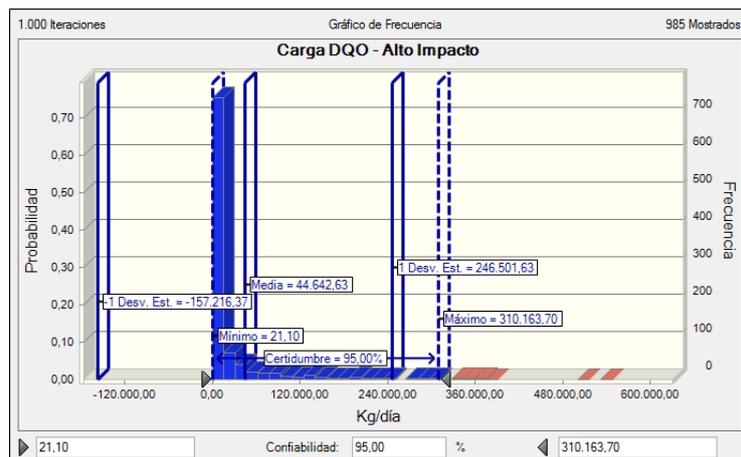


Gráfico 41. Carga contaminante de DQO de las ARI de alto impacto

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARI de alto impacto sea de aproximadamente **44642,62 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del

95%, esta carga contaminante está entre **[21,10 kg/día – 310163,70 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **201859 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto dentro del rango de confianza del 95% y cercano a la media, pero hacia la izquierda. Existe una gran incertidumbre acerca de este resultado, debido a la gran variación presente en la desviación estándar.

Carga contaminante de DQO de las Industrias de medio impacto

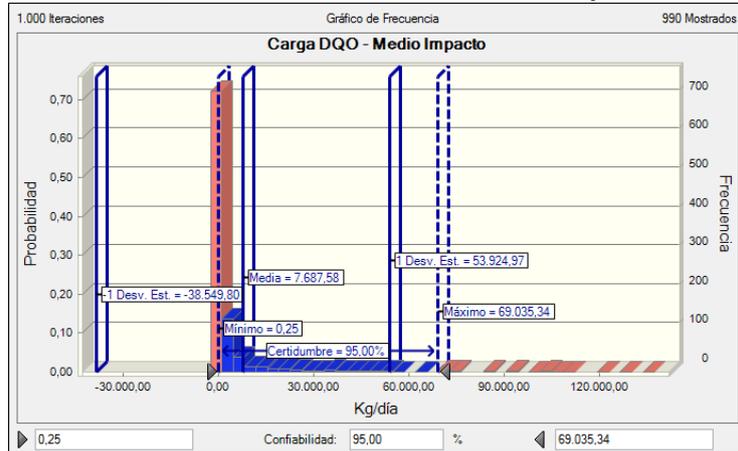


Gráfico 42. Carga contaminante de DQO de las ARI de medio impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARI de medio impacto sea de aproximadamente **7687,58 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[0,25 kg/día –69035,34 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **46237,39 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto fuera del rango de confianza del 95%, sin embargo, este se encuentra cercano a la media. Existe una gran incertidumbre, por lo que la desviación estándar es alta.

Carga contaminante de DQO de las Industrias de bajo impacto:

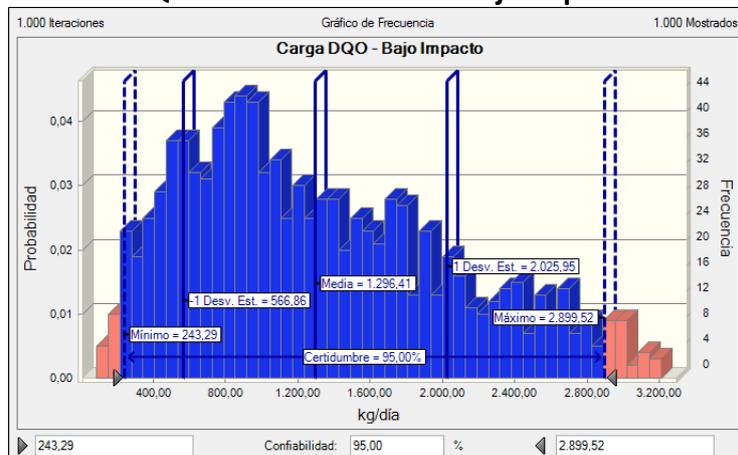


Gráfico 43. Carga contaminante de DQO de las ARI de bajo impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de DQO de las ARI de bajo impacto sea de aproximadamente **1296,41 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[243,29 kg/día – 2899,52 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **729,54 kg/día**.

La distribución pudiera ajustarse levemente a una normal, con tendencia hacia la izquierda, presentando los picos más altos dentro del rango de confianza del 95% y cercanos a la media.

3.2.2.5 Carga contaminante de SS

Carga contaminante de SS de la PTAR de Ucubamba:

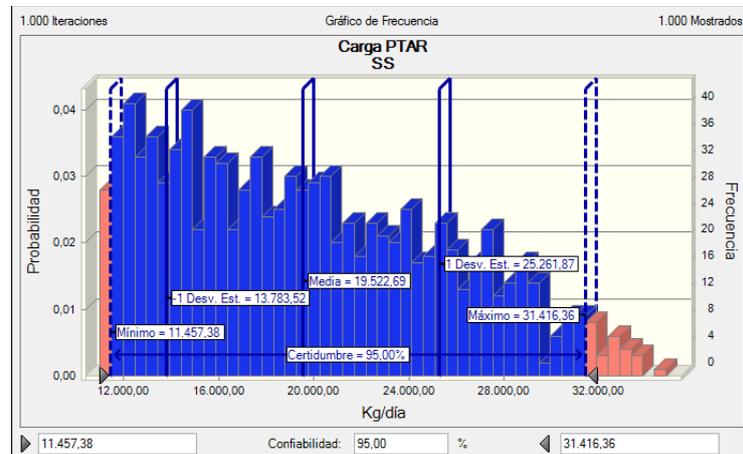


Gráfico 44. Carga Contaminante de SS en la PTAR de Ucubamba
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de SS de la PTAR de Ucubamba sea de aproximadamente **19522,69 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[11457,38 kg/día – 31416,36 kg/día]**, este rango de variación es amplio, ya que la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **5739,18 kg/día**.

La distribución de la carga contaminante de la PTAR de Ucubamba no se pudiera ajustar a una distribución normal, sin embargo mantiene una tendencia hacia la izquierda, ya que los picos más altos se encuentran en ese sector del gráfico de probabilidades y dentro del rango del 95% de confianza.

Carga contaminante de SS de las ARD:

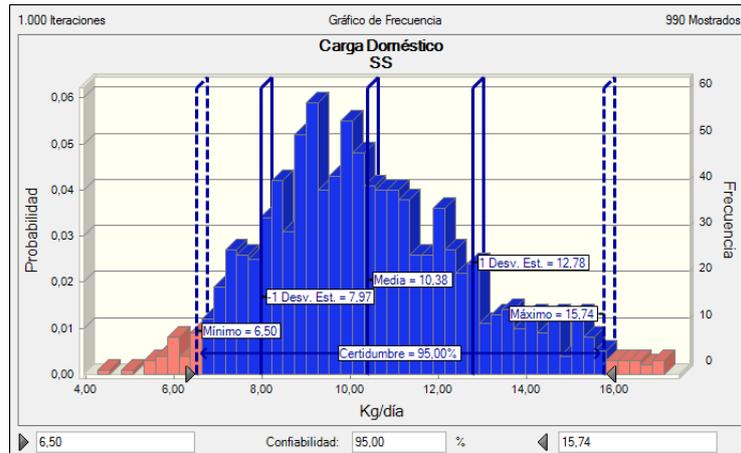


Gráfico 45. Carga contaminante de SS de las ARD

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de SS de las ARD sea de aproximadamente **10,38 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de SS está entre **[6,50 kg/día – 15,74 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **2,4 kg/día**.

La distribución puede asemejarse a una normal, con los picos más altos dentro de la media. La desviación estándar es pequeña, lo que permite una menor incertidumbre.

Carga contaminante de SS de las ARS:

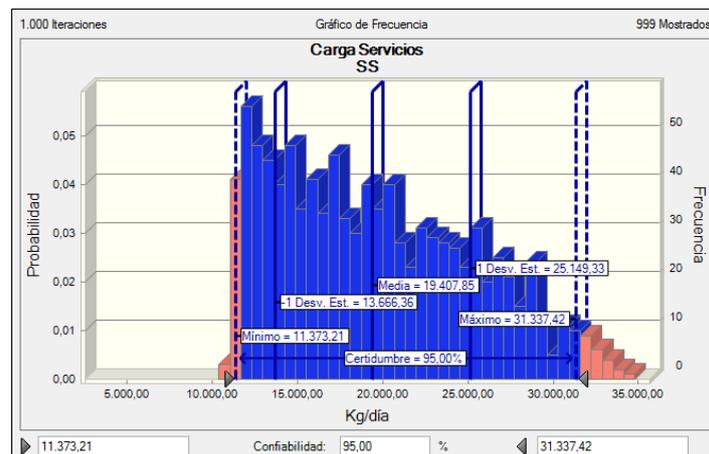


Gráfico 46. Carga contaminante de SS de las ARS.

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaba que en promedio la carga contaminante de SS de las ARS sea de aproximadamente **19407,85 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante

de SS está entre **[11373,21 kg/día – 31337,42 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **5741,48 kg/día**.

La distribución de las ARS no se puede ajustar a una distribución normal; los picos más altos en el extremo izquierdo del rango de confianza del 95 %

Carga contaminante de SS de las ARI

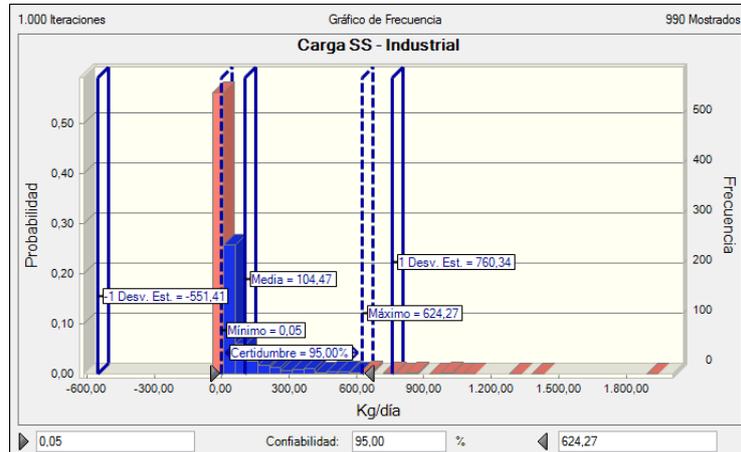


Gráfico 47. Carga contaminante de SS de las ARI

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de SS de las ARI sea de aproximadamente **104,47 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de SS está entre **[0,05 kg/día – 624,27 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **655,87 kg/día**.

La distribución no se aproxima a una normal, presentando el pico más alto fuera del rango de confianza del 95%, y que dentro de este rango se presentan un pico de mediana altura cercano a la media por el lado izquierdo.

Carga contaminante de SS de las Industrias de alto impacto

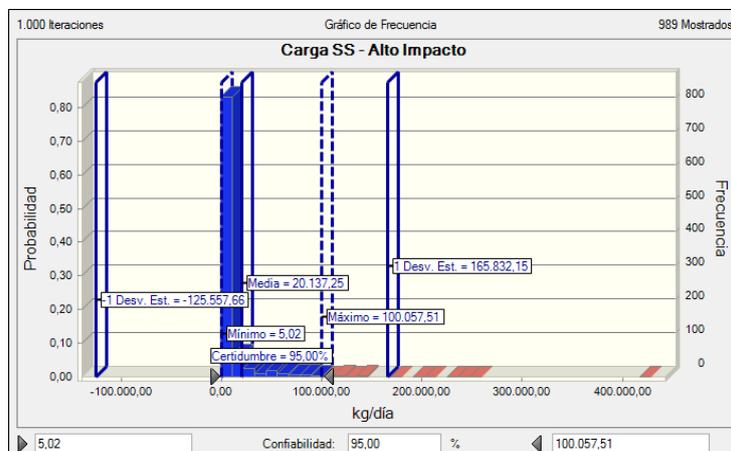


Gráfico 48. Carga contaminante de SS de las ARI de alto impacto

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de SS de las ARI de alto impacto sea de aproximadamente **20137,25 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[5,02 kg/día – 100057,51 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **145694,9 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto dentro del rango de confianza del 95% y cercano a la media por el lado izquierdo del gráfico de probabilidades, lo que nos indica una tendencia a que se ocurran las mayores cargas contaminantes.

Carga contaminante de SS de las Industrias de medio impacto

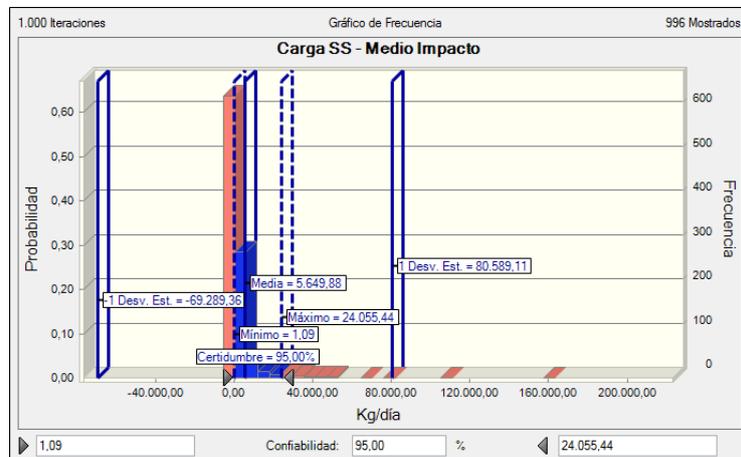


Gráfico 49. Carga contaminante de SS de las ARI de medio impacto
Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se esperaría que en promedio la carga contaminante de SS de las ARI de medio impacto sea de aproximadamente **5649,88 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante está entre **[1,09 kg/día – 24055,44 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **74939,23 kg/día**.

La distribución no se ajusta a una normal, presentando el pico más alto fuera del rango de confianza del 95%, sin embargo, este se encuentra cercano a la media. Dentro del rango de confianza se encuentran pocas probabilidades.

Carga contaminante de SS de las Industrias de bajo impacto:

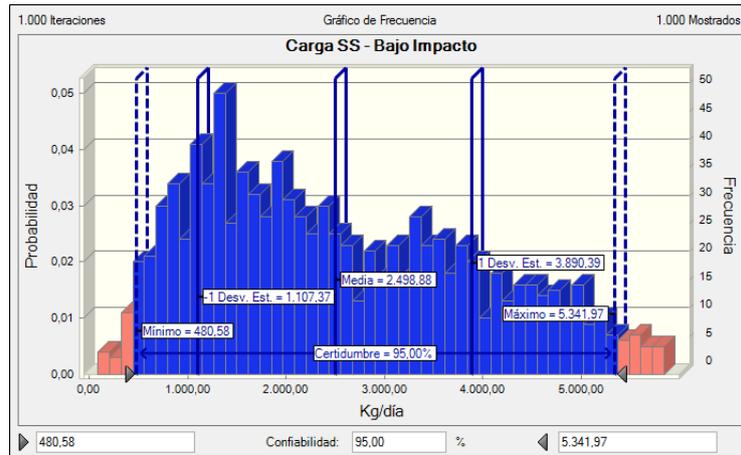


Gráfico 50. Carga contaminante de SS de las ARI de bajo impacto

Fuente: Análisis estadístico Cristal Ball.

La distribución de probabilidad obtenida con la aplicación del método Montecarlo, luego de un proceso de 1000 iteraciones, nos da como resultado que se espera que en promedio la carga contaminante de SS de las ARI de bajo impacto sea de aproximadamente **2498,88 Kg/día**. Podemos afirmar que con una probabilidad del 95%, esta carga contaminante de SS está entre **[480,58 kg/día – 5341,97 kg/día]**, la desviación estándar de la carga contaminante es de aproximadamente **1391,51 kg/día**.

La distribución pudiera ajustarse levemente a una normal, presentando los picos más altos dentro del rango de confianza del 95% y cerca al extremo izquierdo del rango de confianza del 95%.

4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

Analizando el comportamiento de las aguas residuales, se tiene que hasta la fecha el máximo caudal esperado en la PTAR de Ucubamba es de 1570 lt/s, lo que resulta inferior al caudal de diseño de la PTAR de Ucubamba, que tiene como caudal medio de diseño de 1899 lt/s. Este caudal se estaría alcanzando en 20 años, es decir en el año 2033, según las proyecciones realizadas y de mantenerse la tendencia actual de crecimiento de caudal a la llegada a la PTAR de Ucubamba. Este valor se debe considerar como el máximo para la operación de la PTAR de Ucubamba, debido a que, como parámetros de diseño se consideran únicamente los caudales medio y máximo horario, con el fin de precautelar las instalaciones y el tratamiento en si, ya que serviría de un colchón para poder tener la capacidad de tratamiento de ocurrir algún evento que eleve el caudal hasta los valores máximos de diseño establecidos.

De acuerdo al análisis de los resultados, en base a las hipótesis planteadas, el aporte de caudal de AR hacia la PTAR de Ucubamba, provienen principalmente de los efluentes de ARD en un 46%, seguido de las ARS con un 30% y las ARI con un 24%.

Dentro de las ARI, realizando el análisis por tipo de industrias definidas en las tres categorías en la hipótesis planteada, se tiene que el mayor aporte de caudal proviene de las industrias de alto impacto con un 55%, seguido por las de bajo impacto con un 28% y por último las de medio impacto con un 17%.

El resultado del análisis de la carga contaminante de la PTAR de Ucubamba presenta una DBO media de 10700,10Kg/día, con una máxima de 16665,78 Kg/día. Este valor es inferior al parámetro de diseño de carga máxima de DBO de 39434 Kg/día. Del análisis de los datos históricos de Carga Contaminante presentada en la PTAR de Ucubamba, se tiene que con la actual tendencia de crecimiento, no alcanzará los niveles de diseño, ya que el valor producto de las proyecciones es superior al actual de la DBO.

El análisis de las ARD, presenta un aporte significativo de caudal, debido en gran parte al número de conexiones domiciliarias a la red de alcantarillado que conduce la AR a la PTAR de Ucubamba. Se puede ajustar la distribución normal, lo cual es producto a cálculo que se realizó en base a la hipótesis planteada, ya que únicamente aumenta año a año la cantidad de habitantes, manteniéndose constante la concentración y el caudal de desfogue, gracias a las características de homogeneidad que mantienen las aguas residuales.

El aporte de caudal de las industrias es el menor, lo cual es debido a la relación que existe entre el número de conexiones domiciliarias que alcanzan 115579, contra las 238 conexiones industriales ubicadas dentro del área de la PTAR de Ucubamba.

Las actividades industriales que se encuentran catalogadas como bajo impacto, son consideradas, como se explicó en el punto 3.1.2.1, como artesanales, además de las de medio impacto que son consideradas como industrias secas, sin embargo su aporte al caudal industrial es importante, cercano al 28% y 17% respectivamente. La legislación local, al colocarlas en esta clasificación, disminuye el control que se puede efectuar,

evitando solicitar muestreos de aguas, lo que puede afectar el control que se debería hacer a cierto grupo de actividades industriales que se encuentran en esta clasificación.

Las industrias de alto impacto, son las que presentan un mayor aporte de que? con el 55%; a este tipo se tiene un control más fuerte en el ámbito ambiental, ya que su producción de efluentes es considerablemente más alta en lo que se refiere en caudal y carga contaminante.

El análisis de los resultados de las ARS presentan incertidumbre, ya que el aporte es mayor que el de las ARI; representa el 30% del total de aporte de las aguas residuales, lo cual es un valor alto para considerar dentro del monitoreo que realiza la empresa ETAPA EP, ya que en la actualidad, con pocos excepciones en ciertos sitios de aporte, como es el caso de los lixiviados, no existe ningún registro del aporte real en caudal y carga contaminante. Dentro de las ARS se encuentra además el aporte de las aguas de infiltración y aguas provenientes de conexiones ilícitas que es incierto.

Los resultados de los valores de Carga Contaminante de los diferentes tipos de efluentes reflejan que el aporte de las ARS es bastante superior al presentado por las ARI y las ARD, lo que genera incertidumbre por la poca cantidad de datos que se tiene al analizar este tipo de efluente, además esto se confirma con la desviación estándar, la cual en estos análisis presenta valores altos por la alta variabilidad de los pocos datos existentes.

Se deberían realizar campañas de muestreos para determinar con una mayor precisión el aporte que generan tanto las industrias de bajo impacto, como el aporte de las industrias de medio impacto. Debido a que, si bien mantienen porcentajes bajos de concentración para cada uno de los parámetros medidos, sin embargo, los valores que presentan son mayores que los presentados por una descarga típica de ARD presentada en el punto 2.1.2.1.

Con este tipo de campañas, que la empresa ETAPA EP debería ser la encargada de ejecutarlas, se analizaría y se llegaría a la conclusión de determinar realmente que industrias pueden denominarse “secas”, o en su defecto, que parámetro se debe cuidar en cada una para evitar descargas que pueden ser perjudiciales al funcionamiento de la PTAR de Ucubamba y al sistema de alcantarillado, o en defecto plantear un sistema de pre tratamiento que ayude al cumplimiento de la normativa nacional.

En lo que respecta al cumplimiento de la legislación vigente, se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Las industrias de bajo impacto presentan una baja o casi nula probabilidad de incumplimiento de la normativa nacional vigente en lo que se refiere a concentraciones.

- Las industrias de impacto medio presentan probabilidades medias de incumplir con la legislación nacional vigente, siendo el DQO el parámetro que más probabilidades tiene de incumplimiento.
- Con el análisis realizado de los parámetros que se consideraron, las industrias de alto impacto representa un alto porcentaje de no alcanzar los parámetros establecidos en la legislación nacional vigente.
- La empresa ETAPA debería analizar a profundidad el aporte real que generan las ARS y las aguas de infiltración o ilícitas e inclusive de las aguas lluvias, ya que al tratarse de un alcantarillado tipo combinado y con los datos existentes, no se sabe una relación real que represente la influencia de cada una de estas.

Las aguas lluvias, si bien no afectan en lo que se refiere al caudal en las unidades de tratamiento en la PTAR de Ucubamba, debido a que cuenta con vertederos de excesos ubicados a lo largo de los colectores marginales y en la unidad de llegada, que garantizan la entrada del caudal efectivo para su tratamiento, pudiera ser un factor que afecte la capacidad de tratamiento de las unidades y el consumo de energía, por el aporte de carga contaminante, sobre todo de sólidos.

A pesar de los esfuerzos realizados tanto por la CGA y por ETAPA EP, se evidencia una falta de continuidad y coordinación de los trabajos que se realizan, debido en su mayor parte a que se tiene una gran cantidad de datos útiles de funcionamiento de la PTAR, sin embargo, los datos obtenidos de los muestreos que se realizan y se presentan en la CGA para los procesos de regularización ambiental, son puntuales y no tienen un control efectivo en el tiempo, por lo que la CGA debe mantener campañas constantes de monitoreo de los efluentes de origen industrial, sobre todo con los de alto impacto, ya que tienen una mayor probabilidad de incumplimiento de la normativa vigente. Además, la base de datos que tiene de los muestreos realizados, no permite tener un buen acercamiento del comportamiento de los efluentes, por la diferencia de temporalidad de los mismos, ya que se efectúan al momento de realizar un proceso de regularización ambiental, sin mantener inclusive fechas similares de muestreos, lo que puede afectar la producción de las industrias, incidiendo en la calidad de los muestreos para poder realizar comparaciones y escalas temporales.

A pesar del incumplimiento que se pueda presentar por parte de las actividades industriales, o de la incertidumbre presentada en el análisis de las ARS, se tiene que tanto la carga contaminante, como el caudal que recibe la PTAR de Ucubamba, es mucho menor al proyectado.

Para el caudal se tiene una proyección de más de 20 años para que se alcancen los límites de diseño del caudal medio, que debe ser el máximo de tratamiento para cuidar la integridad y la capacidad de tratamiento de la PTAR de Ucubamba; además que, el valor de DBO actual y su tendencia de crecimiento lineal, hacen que resulte difícil alcanzar los parámetros de diseño con los que se proyectó la PTAR de Ucubamba para el final del periodo de diseño. Esto nos indica, ya que el comportamiento de la PTAR de Ucubamba es mejor al esperado, los nuevos diseños que se proyecten en la

zona, debe considerarse este análisis y las recomendaciones señaladas, con la finalidad de mantener un mayor control y lograr que la PTAR funcione a su máxima capacidad.

5 BIBLIOGRAFÍA

Arocha, Simón. 1983. *Cloacas y Drenajes*. Caracas : s.n., 1983.

CGA, Comisión de Gestión Ambiental. 2009. *Ordenanza para la aplicación del Subsistema de evaluación de Impacto Ambiental, dentro de la jurisdicción del Cantón Cuenca*. Cuenca : s.n., 2009.

ETAPA EP, Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental. 2008. *Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para Cuenca II Fase: Memoria Técnica Mejoramiento integral del sistema de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba*. Cuenca : s.n., 2008.

Fabris, Julio. 2009. *Econometría financiera: modelos y pronósticos utilizando QMS EViews 1a ed.* Buenos Aires : Omicron System S.A., 2009. 978-987-1046-88-1.

Faulín, Javier y Ángel, Juan. Simulación de Montecarlo en Excel. *Sitio web de la Universitat Oberta de Catalunya*. [En línea] [Citado el: 17 de 02 de 2014.] http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Simulacion_MC.pdf.

Fernandez, Hueso Valme. Proyecto de fin de carrera: Análisis de Riesgos en la Gestión de proyecto. Aplicación a un CRM. Anexo I. Manual de Crystal Ball.

Giles, Ronald V. 1993. *Mecánica de los Flúidos e Hidráulica, Segunda Edición*. México D.F. : McGraw-Hill/Interamericana de México S.A de C.V., 1993. 968-422-936-4.

Henry, Glynn y Heinke, Gary. 1999. *Ingeniería Ambiental, Segunda Edición*. México : Prentice Hall, 1999. 970-17-0266-2.

López, Cualla Ricardo Alfredo. 2006. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillas*. Bogota : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. 205-59.

Pérez Farrás, Luis. 2002. Sitio web de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. [En línea] Julio de 2002. [Citado el: 11 de 02 de 2014.] <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/EcCont.pdf>.

Pérez, López César. 2005. *Muestreo estadístico concepto y problemas resueltos*. Madrid : Pearson Educación S.A, 2005. 84-205-4411-6.

Rodriguez-Aragón, Licesio J. 2011. Simulación, Método Montecarlo. 2011.

Romero, Rojas Jairo Alberto. 2010. *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogota : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 205-59.

Streeter, Victor L., Wylie, E. Benjamin y Bedford, Keith W. 2000. *Mecánica de fluidos, Novena Edición*. Bogotá : McGraw-Hill Interamericana S.A, 2000. 958-600-987-4.

Suárez López, Joaquín, Martínez Abella, Fernando y Puertas Agudo, Jerónimo. 2005. *Manual de Conducciones Uralita*. Madrid : Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., 2005. 84-283-2882-X.

Triola, Mario F. 2000. *Estadística elemental, séptima edición*. México : Addison Wesley Longman, 2000. 968-444-341-2.

Yáñez, Cossio Fabián. 1989. Diseños Definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Cuenca. *Cuaderno No. 4 Diseño de las Lagunas Aereadas*. Cuenca : s.n., 1989.

Yáñez, Cossío Fabián. 1993. *Lagunas de Estabilización. Teoría, diseño, evaluación y mantenimiento*. Cuenca : Imprenta Monsalve, 1993.

6 ANEXOS:

ANEXO 1: MAPAS ÁREA DE INFLUENCIA PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 1.1: ÁREA DE INFLUENCIA PTAR DE UCUBAMBA CON LAS PARROQUIAS URBANAS Y RURALES

ANEXO 1.2: MAPAS ÁREA DE INFLUENCIA INTERCEPTORES

ANEXO 2: INFORMACIÓN ANALIZADA

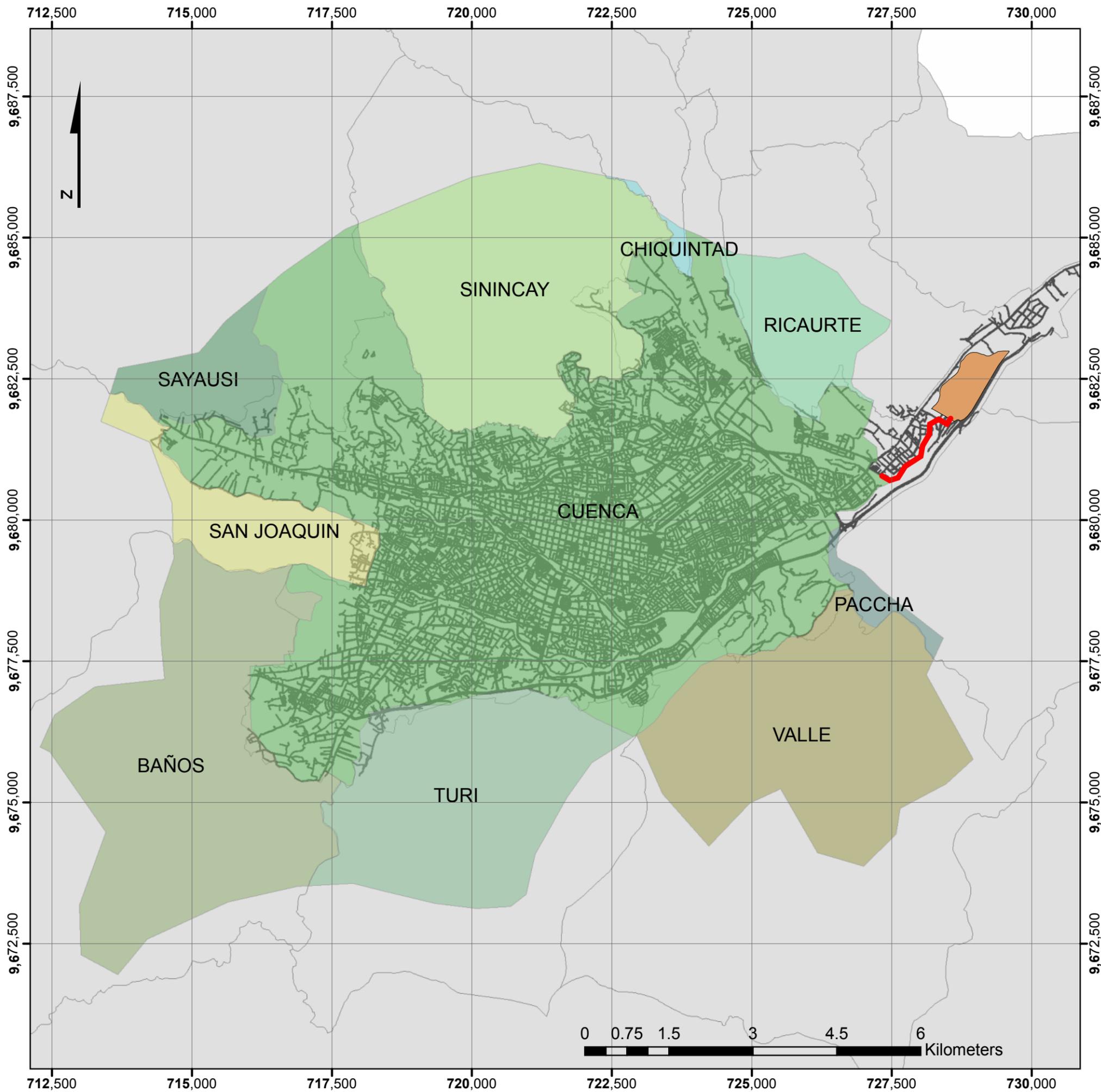
ANEXO 2.1: CARACTERIZACIONES INDUSTRIALES

ANEXO 2.2: CAUDAL INGRESO PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 2.3: CARACTERIZACIONES DBO AFLUENTE PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 1: MAPAS ÁREA DE INFLUENCIA PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 1.1: ÁREA DE INFLUENCIA PTAR DE UCUBAMBA CON LAS PARROQUIAS URBANAS Y RURALES



LEYENDA

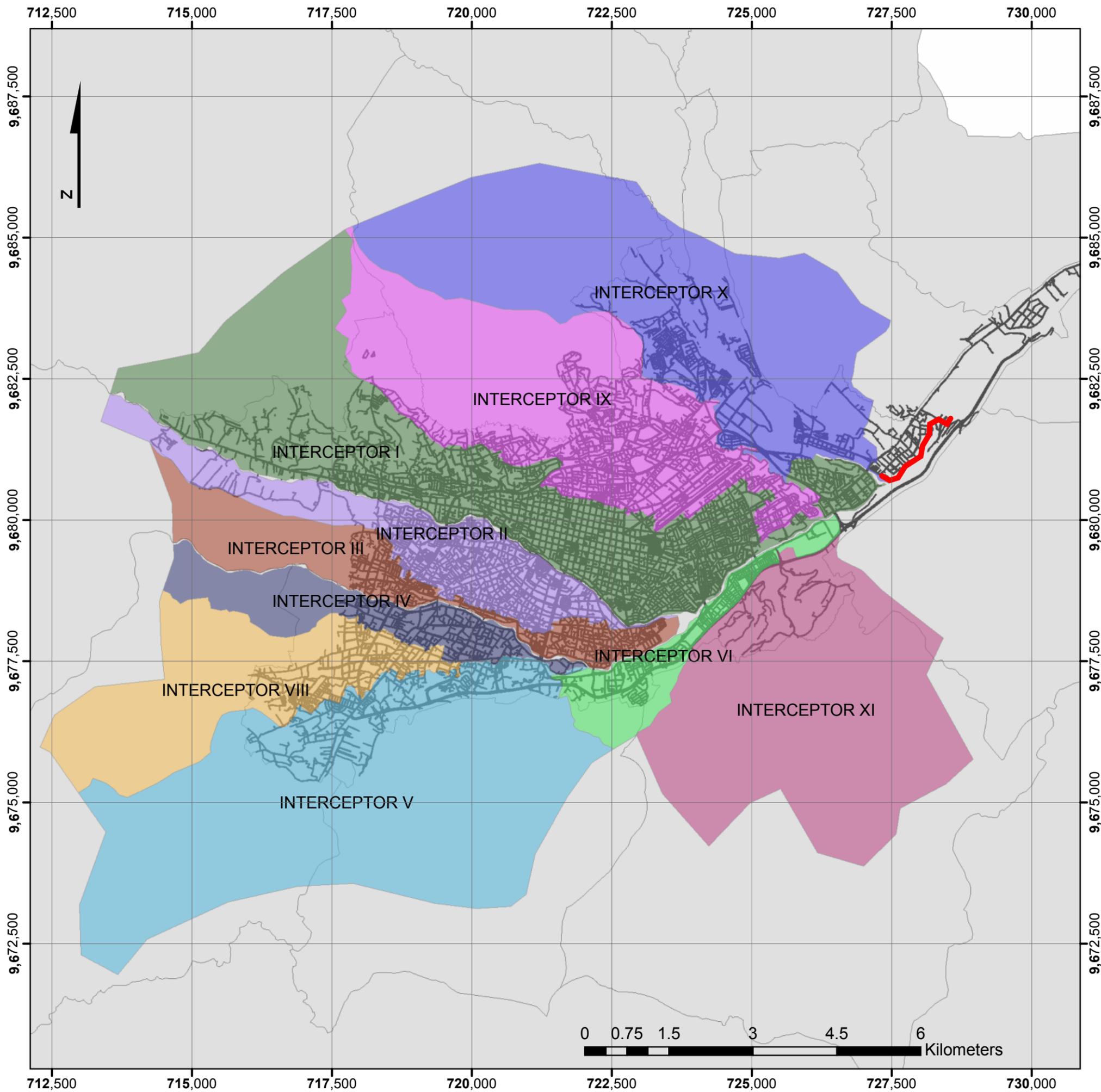
- EMISARIO FINAL
- AREA PTAR UCUBAMBA

PARROQUIAS CUENCA

- BAÑOS
- CHIQUINTAD
- CUENCA
- PACCHA
- RICAURTE
- SAN JOAQUIN
- SAYAUSI
- SININCAY
- TURI
- VALLE
- PLANO CUENCA

| | |
|--|--|
| Universidad del Azuay | |
| Área de influencia de la PTAR de Ucubamba | Ing. Antonio Bermeo P. |
| | Maestría en Gestión Ambiental Versión II |
| | Escala: 1:70.000 |
| Trabajo de Tesis previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental | Hoja 1/2 |
| Fecha: Marzo 2014 | |

ANEXO 1.2: MAPAS ÁREA DE INFLUENCIA INTERCEPTORES



LEYENDA

EMISARIO FINAL

NOMBRE

- INTERCEPTOR I
- INTERCEPTOR II
- INTERCEPTOR III
- INTERCEPTOR IV
- INTERCEPTOR IX
- INTERCEPTOR V
- INTERCEPTOR VI
- INTERCEPTOR VIII
- INTERCEPTOR X
- INTERCEPTOR XI
- PLANO CUENCA

Universidad del Azuay

| | |
|--|--|
| Área de cobertura del alcantarillado dentro del Cantón Cuenca | Ing. Antonio Bermeo P. |
| | Maestría en Gestión Ambiental Versión II |
| | Escala: 1:70.000 |
| Trabajo de Tesis previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental | Hoja 2/2 |
| | Fecha: Marzo 2014 |

ANEXO 2: INFORMACIÓN ANALIZADA

ANEXO 2.1: CARACTERIZACIONES INDUSTRIALES

ANEXO 2.1

INFORMACION OBTENIDA DE LAS CARACTERIZACIONES INDUSTRIALES

| AÑO | CIU | CAUDAL l/s | CONCENTRACION | | |
|-------|-------|---------------|---------------|-------------|------------|
| | | | DBO mg/l | DQO mg/l | SS mg/l |
| 1999 | C1010 | 0.467 | 820 | 1388 | 162 |
| | | 0.277 | 780 | 1361 | 125 |
| | | 0.142 | 755 | 1163 | 112 |
| | | 2.096 | 251.35 | 1436.6 | 260 |
| | | 1.511 | 17.07 | 97.76 | 17.66 |
| | | 1.676 | 291.7 | 710.42 | 223 |
| | | 1.146 | 292.65 | 1497.68 | 401 |
| | | 2.485 | 303.05 | 880.08 | 484 |
| | | 0.184 | 502.6 | 2676.87 | 570 |
| | | 0.056 | 542.85 | 1436.3 | 880 |
| | | 0.62 | 535.45 | 617.76 | 152 |
| | | 0.24 | 577.65 | 3739.2 | 1110 |
| | | 0.164 | 199.3 | 772 | 716 |
| 2000 | C1410 | 1.606 | 147 | 511 | 41 |
| | | 2.144 | 107 | 402 | 32 |
| | | 2.039 | 115 | 468 | 25 |
| 2008 | C1010 | 1.05 | 1250 | 1901 | 304 |
| | C1050 | 1.61 | 2300 | 3829 | 144 |
| | | 0.28 | 2950 | 4863 | 800 |
| | C1410 | 1.05 | 1250 | 1901 | 370 |
| | C2211 | 5.09 | 73 | 258 | 152 |
| | | 1.92 | 131 | 308 | 94 |
| | | 1.46 | 250 | 446 | 128 |
| | | 0.03 | 9 | 12 | 20 |
| | | 0.214 | 2.1 | 10 | 5 |
| | | 0.017 | 2.4 | 8 | 8 |
| | | 0.34 | 4 | 14 | 72 |
| | | 0.0214 | 1.5 | 6 | 10 |
| | | 0.39 | 1.9 | 2 | 8 |
| | | 0.41 | 144 | 448 | 12 |
| | | 0.16 | 101 | 278 | 26 |
| | | 0.18 | 21 | 86 | 13 |
| | | 0.16 | 131 | 623 | 186 |
| | | 0.25 | 218 | 1163 | 322 |
| | | 0.16 | 195 | 1004 | 294 |
| | | 0.85 | 30 | 127 | 51 |
| 0.52 | | 196 | 421 | 57 | |
| 0.41 | 163 | 498 | 294 | | |
| C2391 | 0.21 | 10 | 26 | 43 | |

| | | | | | |
|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | C1511 | 0.86 | 308 | 905 | 138 |
| | | 0.558 | 3.3 | 1397 | 206 |
| | C1702 | 0.56 | 313 | 768 | 172 |
| | | 5.61 | 180 | 520 | 47 |
| | | 1.48 | 358 | 925 | 148 |
| | | 1.805 | 555 | 1260 | 148 |
| | | 5.85 | 1113 | 4409 | 3632 |
| 6.81 | 810 | 3504 | 2200 | | |
| 2009 | C1010 | 3.161 | 1125 | 2242 | 958 |
| | | 2.881 | 930 | 1540 | 600 |
| | C2391 | 0.956 | 87 | 184 | 1324 |
| | | 1.059 | 28 | 81 | 1304 |
| | | 1.011 | 21 | 228 | 14190 |
| | | 1.195 | 37 | 261 | 6730 |
| | C2392 | 0.044 | 3 | 97 | 1058 |
| | | 0.036 | 3 | 56 | 534 |
| | | 4.2 | 9 | 33 | 639 |
| | | 5.24 | 2.2 | 39 | 274 |
| | C1511 | 0.68 | 520 | 1406 | 181 |
| | | 0.76 | 515 | 1743 | 326 |
| | | 0.73 | 570 | 1052 | 225 |
| | C2220 | 1.18 | 4 | 12 | 7 |
| | | 0.76 | 10 | 20 | 13 |
| | C1010 | 0.2 | 224 | 269 | 59 |
| | | 0.15 | 136 | 20 | 13 |
| | C1104 | 0.99 | 14 | 115 | 24 |
| | | 1.33 | 13 | 55 | 26 |
| | C2011 | 0.03 | 57 | 150 | 19.2 |
| 0.06 | | 270 | 737 | 38.4 | |
| 0.2 | | 225 | 574 | 14.4 | |
| C2599 | 0.08 | 64 | 167 | 97 | |
| | 0.18 | 52 | 167 | 152 | |
| C2011 | 0.01 | 30 | 59 | 19 | |
| | 0.241 | 140 | 206 | 27 | |
| C1010 | 0.17 | 193 | 301 | 69 | |
| | 0.28 | 500 | 855 | 396 | |
| | 1.68 | 740 | 894 | 157 | |
| C1511 | 0.68 | 520 | 1406 | 181 | |
| | 0.76 | 515 | 1743 | 326 | |
| | 0.73 | 570 | 1052 | 225 | |
| | 0.89 | 875 | 1727 | 1028 | |
| | 1.81 | 725 | 2040 | 662 | |
| | 2.19 | 1070 | 3153 | 1200 | |
| | 0.25 | 260 | 520 | 146 | |
| | 0.21 | 278 | 514 | 136 | |
| C1101 | 2.19 | 335 | 635 | 179 | |
| | 0.86 | 975 | 1688 | 252 | |
| | | 1.13 | 963 | 1541 | 189 |

| | | | | | |
|-------|-------|------|------|------|------|
| | | 1.64 | 460 | 802 | 119 |
| | C2391 | 0.04 | 63 | 396 | 608 |
| | C2395 | 1.14 | 11 | 46 | 102 |
| | | 0.65 | 11 | 44 | 187 |
| | C2396 | 0.65 | 11 | 44 | 1568 |
| 2010 | C1410 | 2.64 | 74 | 247 | 34 |
| | | 2.9 | 80 | 241 | 59 |
| | | 2.97 | 66 | 302 | 70 |
| | C1050 | 0.77 | 960 | 2364 | 286 |
| | C1511 | 0.77 | 205 | 396 | 98 |
| | C1101 | 1.89 | 2.2 | 216 | 2 |
| | | 2.18 | 2 | 443 | 2 |
| C1010 | 0.28 | 0 | 5376 | 1348 | |
| 2011 | C2392 | 0.14 | 9 | 45 | 19 |
| | | 0.1 | 9 | 57 | 21 |
| | | 0.64 | 10 | 140 | 2950 |
| | | 0.53 | 14 | 148 | 4630 |
| | C1010 | 0.01 | 176 | 213 | 38 |
| | | 0.04 | 49 | 69 | 25 |
| | | 0.05 | 224 | 512 | 141 |
| | | 2.41 | 348 | 653 | 264 |
| | | 1.46 | 288 | 717 | 279 |
| | C2211 | 0.45 | 8.39 | 685 | 848 |
| | | 0.4 | 5.42 | 455 | 732 |
| | | 0.23 | 4.3 | 14 | 646 |
| | | 0.22 | 4.3 | 14 | 415 |
| | | 1.28 | 30 | 7 | 494 |
| | | 0.86 | 3 | 7 | 548 |
| | | 0.05 | 11 | 9 | 219 |
| | | 0.07 | 8 | 7 | 206 |
| | | 0.54 | 56 | 38 | 303 |
| | C2220 | 2.69 | 57 | 201 | 198 |
| | | 0.58 | 20 | 40 | 28 |
| C1104 | 6.69 | | 854 | 278 | |
| | 4.76 | | 3162 | 323 | |
| 2012 | C1050 | 1.56 | 404 | 800 | 196 |
| | C2393 | | 20 | 251 | 3255 |
| | | | 20 | 605 | 4080 |
| | C2599 | 0.06 | 183 | 445 | 225 |
| | | 0.05 | 355 | 483 | 347 |
| | C2395 | 0.09 | 12 | 99 | 225 |
| | C2750 | 1.34 | 51 | 136 | 26 |
| 1.407 | | 15 | 48 | 13 | |



Incidencia de los resultados de la regularización ambiental por efluentes industriales en la capacidad proyectada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba.

ANEXO 2.2: CAUDAL INGRESO PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 2.2**INFORMACIÓN DE LA PTAR DE UCUBAMBA**

| AÑO | CAUDAL l/s | CAUDAL m3/s |
|------|---------------|----------------|
| 1999 | 1263 | 1.263 |
| 2000 | 1330 | 1.330 |
| 2001 | 1143 | 1.143 |
| 2002 | 1251 | 1.251 |
| 2003 | 1253 | 1.253 |
| 2004 | 1094 | 1.094 |
| 2005 | 1151 | 1.151 |
| 2006 | 1119 | 1.119 |
| 2007 | 1208 | 1.208 |
| 2008 | 1213 | 1.213 |
| 2009 | 1088 | 1.088 |
| 2010 | 1166 | 1.166 |
| 2011 | 1074 | 1.074 |
| 2012 | 1361 | 1.361 |
| 2013 | 1538 | 1.538 |



Incidencia de los resultados de la regularización ambiental por efluentes industriales en la capacidad proyectada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba.

ANEXO 2.3: CARACTERIZACIONES DBO AFLUENTE PTAR DE UCUBAMBA

ANEXO 2.3**CONCENTRACIONES DBO MEDIAS MENSUALES INGRESO PTAR UCUBAMBA**

| AÑO | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1999 | | | | | | | | | | | 92 | 68 |
| 2000 | 98 | 86 | 61 | 60 | 47 | 60 | 69 | 99 | 56 | 67 | 74 | 64 |
| 2001 | 71 | 74 | 47 | 86 | 59 | 71 | 81 | 71 | 74 | 102 | 117 | 73 |
| 2002 | 73 | 81 | 75 | 71 | 72 | 69 | 97 | 81 | 90 | 101 | 89 | 70 |
| 2003 | 97 | 107 | 84 | 83 | 69 | 107 | 121 | 97 | 94 | 83 | 95 | 91 |
| 2004 | 100 | 108 | 112 | 80 | 118 | 138 | 110 | 126 | 127 | 120 | 105 | 93 |
| 2005 | 114 | 95 | 75 | 78 | 94 | 102 | 107 | 99 | 110 | 78 | 99 | 69 |
| 2006 | 85 | 97 | 89 | 85 | 91 | 122 | 119 | 111 | 103 | 115 | 99 | 90 |
| 2007 | 106 | 94 | 99 | 68 | 89 | 83 | 110 | 106 | 113 | 105 | 93 | 108 |
| 2008 | 99 | 55 | 76 | 66 | 67 | 88 | 116 | 98 | 99 | 93 | 83 | 85 |
| 2009 | 86 | 85 | 88 | 119 | 95 | 91 | 124 | 142 | 127 | 123 | 127 | 107 |
| 2010 | 117 | 112 | 114 | 99 | 122 | 96 | 114 | 119 | 136 | 135 | 138 | 117 |
| 2011 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2012 | 84 | 92 | 83 | 83 | 95 | 105 | 123 | 95 | 101 | 94 | 92 | 115 |