



# Universidad de Cuenca

## Facultad de Ingeniería

### Carrera de Ingeniería Civil

---

Estudio del impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba

---

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

---

#### **Autores:**

Daniel Andrés Espinoza Berrezueta      CI:0104988175

Tatiana Carolina Zumba López            CI:0104538400

#### **Director:**

Dra. Gladys Guillermina Pauta Calle    CI:0300691045

---

**Cuenca – Ecuador**

**2018**



## RESUMEN

Hoy en día la presencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un indicador de desarrollo y al mismo tiempo un proceso efectivo para la mitigación ambiental, a pesar de que estas siguen descargando su efluente hacia un cuerpo receptor natural. Es importante que el cuerpo receptor sea capaz de absorber y neutralizar las cargas contaminantes, por esta razón se debe vigilar la conservación de la calidad del agua del mismo. En Cuenca desde 1999 se encuentra en funcionamiento la PTAR de Ucubamba cuyo efluente es descargado hacia el río Cuenca, con este estudio se trata de determinar qué efectos causa el efluente en el río. De esta manera se planteó como objetivo en este trabajo, la evaluación del impacto ambiental que se produce en la calidad del agua del río Cuenca, debido a la descarga del efluente de la PTAR de Ucubamba. Para determinar el impacto se realizó una matriz distributiva de Leopold en la que se usó como parámetros aquellos determinados por la metodología ICA, aparte se evaluó el estado trófico del río mediante mediciones de clorofila. Los resultados mostraron que existe un impacto negativo categorizado como compatible y también un impacto positivo, esto debido a que el efluente diluye ciertas concentraciones de contaminantes en el río. Se puede concluir que el estado del río, en términos de calidad, antes de la descarga es crítico; esta situación implica que el efluente de la planta no represente mayor impacto en el mismo.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, cargas contaminantes, cuerpo receptor, ICA, impacto ambiental, estado trófico, normativa TULSMA.



## **ABSTRACT**

Nowadays Wastewater Treatment Plants are a development indicator and also an effective process for environmental mitigation; although its effluent continues to be discharged to a natural receiving body. It is very important that the receiving body is able to absorb and neutralize the pollutant loads, for this reason the preservation of water quality should be monitored. In Cuenca, since 1999, has been operating the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Ucubamba, and its effluent is being discharged into the Cuenca river. This study attempts to determine the effects of the effluent on the river. In this way, the objective was established to determine the environmental impact that occurs in the water quality of the Cuenca river, due to the discharge of the effluent from the WWTP of the city Cuenca located in Ucubamba. To determine this impact, a distributive matrix of Leopold was used, in which those parameters determined by the ICA methodology were used, also the trophic state of the river was evaluated using chlorophyll measurements. The results showed that there is a negative impact categorized as compatible and also a positive impact, this due because the effluent dilutes certain concentrations of pollutants in the river. It can be concluded that the river's state, in terms of quality, before the discharge is critical; this situation helps to the effluent effect does not represent a greater impact in it.

**Key words:** Wastewater treatment, polluting loads, receiving body, ICA, environmental impact, trophic state, TULSMA normative.



## Contenido

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN .....	19
1.1. ANTECEDENTES.....	19
1.2. OBJETIVOS .....	20
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	20
1.4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN .....	21
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. SANEAMIENTO AMBIENTAL .....	22
2.1.1. DESCRUPCIÓN GENERAL DE UN RÍO.....	22
2.2. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	22
2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS.....	23
2.2.2. CARACTERISTICAS QUÍMICAS .....	23
2.2.3. CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS .....	26
2.2.4. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CUENCA .....	26
2.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	30
2.3.1. PROCESOS BIOLÓGICOS.....	30
2.3.2. TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	31
2.3.3. DEFINICIÓN DE NIVELES DE TRATAMIENTO DENTRO DE UN SISTEMA .....	32
2.3.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA 33	
2.4. AGUA SUPERFICIAL COMO CUERPO RECEPTOR.....	36



2.4.1.	CALIDAD .....	37
2.4.2.	CONTAMINACIÓN .....	37
2.4.3.	MOVIMIENTO DE CONTAMINANTES .....	38
2.4.4.	AUTODEPURACIÓN .....	39
2.4.5.	REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO .....	40
2.5.	EUTROFIZACIÓN DE LOS CUERPOS ACUÁTICOS .....	42
2.5.1.	PROCESO EUTROFIZACIÓN .....	42
2.5.2.	NUTRIENTES .....	42
2.5.3.	NIVELES DE EUTROFIA .....	43
2.5.4.	CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN .....	43
2.5.5.	ÍNDICE DEL ESTADO TRÓFICO (IET O TSI) .....	44
2.6.	IMPACTO AMBIENTAL .....	44
2.6.1.	CUANTIFICACION DEL IMPACTO .....	45
2.6.1.1.	MAGNITUD .....	46
2.6.1.2.	INCIDENCIA .....	46
2.6.1.3.	IMPACTO .....	47
2.6.2.	IMPACTO DE CONTAMINACIÓN .....	48
2.6.2.1.	CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	48
2.6.3.	CALIDAD AMBIENTAL .....	48
2.6.4.	INDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	49
2.7.	LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	49
CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS .....		50
3.1.	ZONA DE ESTUDIO .....	50
3.1.1.	UBICACIÓN .....	50
3.1.2.	ANTECEDENTES .....	50



3.1.2 CLIMA.....	51
3.1.3 TRAMO DE ESTUDIO.....	51
3.1.4 SECCIÓN DE AFORO .....	52
3.2. INSTRUMENTACIÓN .....	53
3.2.1. AFOROS DE CAUDAL .....	53
3.2.2. MUESTREO DE CALIDAD AGUA.....	56
3.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO .....	58
3.3.1. TIPO DE MUESTRA.....	59
3.3.2. FRECUENCIA .....	59
3.3.3. RECOLECCION DATOS INSITU .....	59
3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	59
3.4.1 PARÁMETROS ANALIZADOS.....	59
3.5. DETERMINACIÓN DEL ICA.....	61
3.6. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EUTROFIZACIÓN A PARTIR DEL INDICE ITS	63
3.6.1. INDICADORES DE EUTROFIZACIÓN.....	63
3.7. IMPACTO AMBIENTAL .....	65
3.7.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO O ENTORNO AFECTADO.....	65
3.7.2. LINEA BASE AMBIENTAL .....	66
3.7.3. ELABORACION MATRIZ DISTRIBUTIVA DE LEOPOLD.....	68
CAPÍTULO 4: RESULTADOS .....	70
4.1. CAMPAÑAS DE MONITOREO Y VARIABLES HIDRÁULICAS .....	70
4.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA APLICANDO EL INDICE ICA .	71
4.3. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL APLICANDO MATRIZ DISTRIBUTIVA DE LEOPOLD.....	74



4.4.	DETERMINACION NIVEL DE EUTROFIZACIÓN APLICANDO EL INDICE ITS	76
4.5.	ANÁLISIS CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA.....	79
4.6.	IMPACTO APLICANDO USOS AFECTADOS.....	83
CAPITULO 5: DISCUSIÓN.....		83
5.1.	VARIABLES HIDRÁULICAS.....	83
5.2.	ÍNDICE ICA.....	84
5.3.	MATRIZ DE LEOPOLD.....	86
5.4.	NIVEL DE EUTROFIZACIÓN.....	88
5.5.	CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS.....	89
5.5.1.	CONSUMO HUMANO O DOMESTICO.....	89
5.5.2.	PROTECCIÓN DE LA FLORA Y FAUNA.....	90
5.5.3.	USO AGRÍCOLA.....	90
5.5.4.	USO PECUARIO.....	90
5.5.5.	USO RECREATIVO.....	90
5.5.6.	USO ESTÉTICO.....	91
5.5.7.	DESCARGA DE EFLUENTES A UN CUERPO DE AGUA DULCE.....	91
5.6.	USOS OTORGADOS POR LA SECRETARIA DEL AGUA.....	91
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
Bibliografía.....		95
ANEXOS.....		100



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características químicas de las AR : Sólidos totales.....	24
Tabla 2: Características químicas de la AR: Materia orgánica .....	24
Tabla 3: Características químicas de las AR: Nitrógeno Total .....	25
Tabla 4: Características químicas de las AR: Fósforo Total .....	25
Tabla 5: Características químicas de las AR: Materia Inorgánica.....	25
Tabla 6: Características químicas de las AR : Gases .....	25
Tabla 7: Composición Típica de AR domésticas .....	27
Tabla 8: Valores promedio anual del afluente de la PTAR Ucubamba; fuente: ETAPA .....	29
Tabla 9: Valores promedio anual del efluente de la PTAR Ucubamba; fuente: ETAPA .....	35
Tabla 10: Estado del Agua según el Oxígeno Disuelto.....	40
Tabla 11: Variación del Oxígeno de Saturación según la Temperatura .....	41
Tabla 12: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua; Fuente: Carlson (1977)44	
Tabla 13: Atributos cualitativos para determinar la Incidencia de un factor afectado .....	46
Tabla 14: Coordenadas de las estaciones de medición.....	52
Tabla 15: Parámetros físicos determinados en laboratorio.....	60
Tabla 16: Parámetros químicos determinados en laboratorio .....	60
Tabla 17: Parámetros microbiológicos determinados en laboratorio .....	61
Tabla 18: Coeficientes de ponderación utilizados en la Metodología ICA.....	62
Tabla 19: Clasificación calidad según el valor del ICA .....	63
Tabla 20: Fórmulas para estimar el estado trófico ITS a partir de la Clorofila a .....	64
Tabla 21: Nivel de significancia para el estado trófico; autoría de los estudiantes.....	64
Tabla 22: Usos del agua antes y después de la descarga del efluente de la PTAR Ucubamba; Fuente: SDHS.....	67
Tabla 23: Porcentaje de caudal adjudicado para distintos usos.....	67





Tabla 24: Resultados de las análisis del Río Cuenca en el año 2009; Fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA.....	68
Tabla 25: Nivel de significancia del impacto analizado mediante la matriz de Leopold; autoría de los estudiantes.....	70
Tabla 26: Caudales y velocidades registrados en las campañas de monitoreo realizadas en período de invierno y verano.....	70
Tabla 27 Valores ICA general para cada monitoreo: .....	71
Tabla 28: Grado de contaminación correspondiente al ICA para cada monitoreo.....	71
Tabla 29: ICA general del Río por período climatológico y magnitud impacto generado .....	71
Tabla 30: Valores designados de atributos para cada factor evaluado y valor final de la Incidencia. ....	74
Tabla 31: Matriz distributiva de Leopold de indicadores representativos de calidad física, química y microbiológica del Río Cuenca en la zona de estudio.....	75
Tabla 32: Impacto Ambiental sobre el Río Cuenca producido por el efluente de la PTAR de Ucubamba, aplicando una matriz distributiva de indicadores representativos de calidad física, química y biológica .....	75
Tabla 33: Variación del Índice del Estado Trófico respecto a los monitoreos.....	76
Tabla 34: Estado trófico del río antes y después de la descarga del efluente de la PTAR de Ucubamba.....	77
Tabla 35: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros físicos .....	79
Tabla 36: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros químicos.....	79
Tabla 37: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros microbiológicos .....	80
Tabla 38: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de consumo humano o domestico del agua; Antes y después de la descarga del efluente .....	80



Tabla 39: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de flora y fauna del agua; Antes y después de la descarga del efluente ..... 80

Tabla 40: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de agrícola del agua; Antes y después de la descarga del efluente ..... 81

Tabla 41: Parámetro cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso pecuario del agua; Antes y después de la descarga del efluente ..... 81

Tabla 42: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso recreativo del agua; Antes y después de la descarga del efluente ..... 82

Tabla 43: Parámetro cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso estético del agua; Antes y después de la descarga del efluente ..... 82

Tabla 44: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de descarga de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce..... 83

Tabla 45: Usos adjudicados antes y después de la descarga ..... 83

Tabla 46: Comparación valores ICA con estudio previo ..... 85

Tabla 47: Valores otorgados a los atributos para el parámetro Oxígeno disuelto ..... 86

Tabla 48: Valores de clorofila medidos antes y después de la descarga en cada monitoreo..... 88

Tabla 50: Límites para el uso del agua con fin de consumo humano o doméstico ..... 113

Tabla 51: Límites para el uso del agua con fin de protección de la flora y fauna ..... 114

Tabla 52: Límites para el uso del agua con fin agrícola..... 115

Tabla 53: Límites para el uso del agua con fin pecuario ..... 116

Tabla 54: Límites para el uso del agua con fin recreativo de contacto secundario ..... 117

Tabla 55: Límites para la descarga de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce ..... 118



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Disposición de lagunas en la PTAR de Ucubamba.....	34
Ilustración 2: Diferencia entre advección y difusión.....	39
Ilustración 3: Concepto de Impacto ambiental, fuente: Barranates, 2007.....	45
Ilustración 4: Esquema de interceptores, fuente: (Yanez, 2000).....	51
Ilustración 5: Variación temperatura, precipitación anual; año 2009; Fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA.....	51
Ilustración 6: Ubicación de las estaciones de muestreo .....	52
Ilustración 7: Sección de aforo; puente de Ucubamba .....	53
Ilustración 8: Variación de la velocidad a partir de su sección y profundidad del cauce; fuente: Hidráulica de tuberías y canales, Rocha.....	54
Ilustración 9: Sección del río divididas entre margen derecho, centro y margen izquierdo; la fecha indica el sentido del flujo del río .....	55
Ilustración 10: Oxímetro YSI model 55 .....	56
Ilustración 11: Frasco Winkler .....	57
Ilustración 12: Sonda Multiparamétrica EXO2.....	58
Ilustración 13: Frasco de vidrio para laboratorio .....	58
Ilustración 14: Función de transformación DBO5 .....	62
Ilustración 15: Precipitación proveniente de la estación M0426 año 2009; fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA.....	67



## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Variabilidad del ICA respecto a los monitoreos .....	72
Gráfico 2: Variación del ICA antes y después del efluente; el área en color gris se puede catalogar como impacto.....	73
Gráfico 3: Variabilidad ICA respecto a los caudales registrados.....	73
Gráfico 4: Variabilidad del ITS respecto a los monitoreos .....	77
Gráfico 5: Variación del ITS antes y después del efluente; el área en color gris se puede catalogar como impacto.....	78
Gráfico 6: Variabilidad ITS respecto a los caudales registrados.....	78
Gráfico 7: Variabilidad del caudal .....	84



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Daniel Andrés Espinoza Berrezueta, autor del trabajo de titulación "Estudio del Impacto Ambiental en la calidad del agua del Río Cuenca producido por la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril de 2018

---

Daniel Andrés Espinoza Berrezueta

C.I: 0104988175



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Tatiana Carolina Zumba López, autora del trabajo de titulación "Estudio del Impacto Ambiental en la calidad del agua del Río Cuenca producido por la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, abril 2018

---

Tatiana Carolina Zumba López

C.I: 0104538400



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Daniel Andrés Espinoza Berrezueta en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio del Impacto Ambiental en la calidad del agua del Río Cuenca producido por la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril de 2018

Daniel Andrés Espinoza Berrezueta

C.I: 0104988175




### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Tatiana Carolina Zumba López en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio del Impacto Ambiental en la calidad del agua del Río Cuenca producido por la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2018



---

Tatiana Carolina Zumba López

C.I: 0104538400





## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis a mis padres por todo su apoyo incondicional al transcurso de mis estudios universitarios, así como por sus enseñanzas de vida que han hecho de mi quien soy; a mi esposa Yadyn quien nunca dejo de darme fuerzas y motivación para culminar todas mis metas propuestas; a mi familia y amigos; pero sobre todo a la razón de mi vivir, a mi gran inspiración y mejor regalo que pude tener, a mi hija Rebecca que con su felicidad y entusiasmo ha alegrado mi vida desde el día que nació.

**Daniel Espinoza B.**

Me gustaría dedicar este trabajo a mi familia, mi tía Mercedes López y a mi tío Antonio López, que han sido como unos padres para mi dándome su cariño y apoyo en cada paso del camino. Pero no hubiera podido alcanzar esta meta sin el amor incondicional de mi madre, María López, quien ha sido el pilar fundamental en mi vida; la persona que me ha inspirado a ser una profesional y que los sueños no son inalcanzables.

**Carolina Zumba L.**



## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestras familias por apoyarnos durante todos estos años de estudio, así como a la Dra. Guillermina Pauta, directora de esta tesis, quien nos supo guiar y apoyar con todo su extenso conocimiento; a las doctoras encargadas del Laboratorio de Sanitaria, Andrea Abril y Gabriela Vázquez, por todo su tiempo empleado en ayudarnos a la realización de esta tesis y al Ing. Oscar Morales por sus comentarios y sugerencias.

**Los autores**



## **CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Uno de los recursos con mayor demanda es el agua, esto debido a que su uso no solo es el doméstico sino también industrial, agrícola, recreacional, entre otros.

A nivel mundial tanto la protección del agua, como el acceso a saneamiento, ha sido uno de los principales objetivos a alcanzar. Gracias a las Millennium Development Goals (MDG) establecidos en el año 2000, las condiciones sanitarias desde el año 2015 han mejorado sustancialmente, así como el cuidado de las fuentes hídricas (United Nations, 2015). Estas medidas son necesarias para conservar los recursos hídricos del planeta asegurando de esta manera su futura conservación (OMS & UNICEF, 2015).

A nivel nacional es evidente el uso del agua desde fuentes cercanas, para cubrir las necesidades básicas de la población, y al mismo para facilitar la disposición final de aguas residuales domésticas e industriales. En Cuenca, el tratamiento de las aguas residuales está a cargo de ETAPA EP (Empresa Municipal de Agua Potable, Saneamiento y Telecomunicaciones), para lo cual se dispone de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en Ucubamba y que se mantiene en funcionamiento desde 1999. El efluente de esta planta descarga directamente en el Río Cuenca, el cual se forma por la unión de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, al noreste de la ciudad de Cuenca.

Uno de los principales indicadores de desarrollo de un país, es el tratamiento de sus aguas residuales; el acceso a saneamiento fortalece la productividad de la comunidad. La descarga de aguas residuales tratadas también debe cumplir normas para conservar la calidad del cuerpo receptor afecta los usos posteriores del recurso. Para evaluar la calidad del agua se requiere de un estudio amplio y definido, cuyos parámetros serán establecidos según el uso o fin del recurso en estudio.



## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto ambiental que se produce en la calidad del agua del río Cuenca, debido a la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca ubicada en Ucubamba,

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del agua con la metodología ICA (Índice de Calidad del Agua) antes y después del efluente.
- Calcular el impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga de la PTAR mediante la matriz de Leopold.
- Determinar el estado trófico antes y después de la descarga.
- Analizar el cumplimiento de la normativa ambiental para los usos asignados al recurso por la Secretaria Nacional del Agua.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

La PTAR de Ucubamba fue puesta en funcionamiento en el año 1999; para el año 2012 se realizaron mejoras en el sistema para alargar la vida útil de la planta hasta el año 2030. Sin embargo, ha provocado que la planta llegue a su capacidad total antes de tiempo, por lo que se empieza el nuevo proyecto PTAR Guangarcucho, que se prevé esté funcionando para el año 2018.

Mientras tanto se puede observar que el efluente proveniente de la planta, presenta una coloración verdosa, la cual puede ser un indicativo de altas concentraciones de algas en el mismo. De acuerdo a la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982), la eutrofización se define como *“El enriquecimiento de las aguas en nutrientes que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que están: el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad del agua y otros cambios sintomáticos que resultan indeseables e interfieren en la utilización del agua”*. A pesar de sonar contradictorio, el exceso de nutrientes en un ecosistema, no ayuda al desarrollo de los organismos; la presencia de demasiados nutrientes afecta de manera negativa tanto a los procesos químicos como a la dinámica de los ecosistemas acuáticos.



El presente estudio contribuye al conocimiento del estado actual del río Cuenca mediante la evaluación físico-química y biológica del agua, a través de un monitoreo sistemático, periódico y documentado, empleando índices de calidad de agua, índices de eutrofización y evaluando criterios de descarga de efluentes vertidos hacia un cuerpo de agua dulce. La Normativa de referencia es la establecida en el TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente) Suplemento 270, con su última modificación del 04 de noviembre de 2015. A través del uso de indicadores de calidad ambiental, funciones de transformación y análisis de factores ambientales afectados, se pretende determinar, cuál es cuál es el impacto provocado por la PTAR.

#### **1.4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

En el capítulo 1 se presenta una breve introducción al problema planteado, sus antecedentes, objetivos y justificación. Además, contiene la estructura que ostenta nuestro proyecto.

El capítulo 2 contiene la revisión de literatura o marco teórico, la misma que inicia con una breve introducción al saneamiento ambiental, tratando las características y el tratamiento de las aguas residuales en general y el específico empleado en la (PTAR) de Ucubamba. Este capítulo finaliza con información sobre la eutrofización de los cuerpos acuáticos, así como de la legislación ambiental que será aplicada en este estudio.

En el capítulo 3 se incluye los materiales y métodos necesarios para la medición de los parámetros de calidad de agua, y para los aforos de caudal. Se explica la metodología para determinar los distintos índices de calidad analizados en este estudio; la metodología para el cálculo del impacto ambiental, además se incluye información sobre las campañas de monitoreo, y sobre los parámetros a ser analizados en laboratorio.

El capítulo 4 contiene los resultados obtenidos, los índices de calidad, los índices de eutrofización, y el valor del impacto producido.

El capítulo 5 muestra las discusiones pertinentes a cada tema abordado en el capítulo 4.

En el capítulo 6 se incluyen las conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo 7 se incluyen todos los anexos correspondientes a las campañas de monitoreo, resultados de laboratorio, funciones de transformación, entre otros.



## **CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. SANEAMIENTO AMBIENTAL**

El agua es uno de los elementos esenciales para la vida, sin embargo, estas han sido contaminadas gradualmente provocando epidemias que han sido la causa de un gran número de decesos. Fue hasta inicios del siglo XIX que el hombre implementó procesos para tratar el agua que se consumía. A medida que las ciudades se fueron desarrollando, sus descargas de aguas residuales tanto domésticas como industriales fueron las causantes de la contaminación de los recursos hídricos. Todos los cuerpos de agua se conectan entre si debido al ciclo hidrológico; los ríos están caracterizados como cuerpos de agua en permanente proceso de mezcla, y su calidad suele variar en el sentido de su flujo, el cual en los ríos es altamente variable y está influenciado por las condiciones climáticas y por las características del área de drenaje (Sierra, 2011).

#### **2.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN RÍO**

Un río básicamente es una corriente de agua que fluye desde las montañas en lo alto hacia las tierras bajas y que puede verter en un río, lago o directamente en el mar. El agua que fluye por los ríos está determinada por el área de su cuenca hidrográfica, que es aquella que vierte sus aguas de escorrentía a un solo río. A su vez también influye la pluviometría, que es la cantidad de agua lluvia que escurre directamente por el río (Catalán LaFuente & Catalán, 1987)

### **2.2. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las Aguas Residuales (AR) proceden esencialmente del suministro de agua potable y son producto de los residuos líquidos y sólidos de una comunidad. Estos residuos provienen de residencias, instituciones, centros comerciales, así como de aguas subterráneas, superficiales y pluviales. (Metcalf, 2014)

Su composición se considera muy variable dado que es afectada por varios factores, entre ellos está el consumo de agua por habitante por día que afecta en la concentración de las mismas, además depende de los hábitos alimenticios, los mismos que afectan su composición química. Comúnmente las AR están compuestas en un 99.9% de agua y el resto es materia sólida, estos residuos sólidos suelen estar conformados de la siguiente manera: (Rojas, Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales, 2002)



70% → material orgánico y 30% → material mineral.

20% → material sedimentable y 80% → material no sedimentable.

Del material sedimentable 67% → orgánico y 33% → mineral.

Del material no sedimentable 50% → orgánico y 50% → mineral.

Es importante conocer las características tanto físicas, químicas, como biológicas de las AR para de esta manera entender su composición, afectación y su importancia de ser tratada.

### **2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS**

Según Metcalf & Eddie (2014) y Marcos Sperling (2007), las características físicas más importantes que se debe tener en cuenta en las aguas residuales son:

- Color: procede de las AR domésticas y de las AR industriales, tienen un color gris claro si son frescas y un color gris oscuro o negro, si están en estado séptico.
- Olor: el olor de las AR es debido a la descomposición de la materia orgánica, así como de ciertos residuos industriales; tienen un olor relativamente desagradable si el agua residual es fresca, mientras que si el agua residual se encuentra en estado séptico su olor es muy desagradable debido a la emisión de gas sulfuro de hidrógeno y otros gases. Esto puede producir efectos como disminución del apetito, un bajo consumo de agua, perturbaciones mentales, así como náusea y vómito. (Rengel, 2000)
- Sólidos: las AR contienen sólidos debido a la erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
- Temperatura: es ligeramente mayor que la del agua potable y sigue las variaciones climáticas de las estaciones del año. La temperatura tiene gran influencia por la actividad microbiana, la solubilidad de los gases y la viscosidad del líquido.
- Turbiedad: es causada por una gran variedad de sólidos suspendidos y se registra mayor turbiedad en AR frescas.

### **2.2.2. CARACTERISTICAS QUÍMICAS**

Según (Sperling, 2007) las características químicas pueden ser analizadas, considerando primero los Sólidos Totales presentes en el agua (Ver Tabla 1); luego la Materia Orgánica (Ver Tabla 2); el contenido de Nitrógeno total (Ver Tabla 3) y el contenido de Fósforo total (Ver Tabla 4).



Después (Metcalf, 2014) se incorpora las subdivisiones de Materia Inorgánica (Ver Tabla 5) y Gases (Ver Tabla 6).

*Tabla 1: Características químicas de las AR : Sólidos totales*

Parámetro	Descripción
Suspendidos	Es parte de sólidos orgánicos e inorgánicos no filtrables.
Fijos	Son compuestos minerales inertes no oxidables por calor.
Volátiles	Son compuestos orgánicos oxidables por calor.
Disueltos	Es parte de sólidos orgánicos e inorgánicos filtrables de dimensión menor a $10^{-3}\mu\text{m}$ .
Fijos	Son compuestos minerales.
Volátiles	Son compuestos orgánicos.
Sedimentables	Es parte de sólidos orgánicos e inorgánicos que sedimentan en 1 hora dentro del cono Imhoff.

*Tabla 2: Características químicas de la AR: Materia orgánica*

Parámetro	Descripción
Carbohidratos	Comúnmente son de fácil descomposición bacteriana, mientras que otros como la celulosa son de difícil descomposición. Presentes en AR domésticas, industriales y comerciales.
Grasas	Su contenido puede ocasionar muchos problemas en su depuración, están presentes en AR domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Proviene de residuos agrícolas.
Proteínas	Son los principales constituyentes de los organismos animales, está presente en AR domésticas, industriales y comerciales.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días y a 20°C, Mide el oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la estabilización de la materia orgánica.
DQO	Demanda Química de Oxígeno, representa la cantidad química de oxígeno necesaria para estabilizar la materia orgánica.
DBO Última	Representa la cantidad total de oxígeno consumido por los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica.
COT	Carbono Orgánico Total, determinado a través de la conversión del carbono orgánico en dióxido de carbono.





*Tabla 3: Características químicas de las AR: Nitrógeno Total*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Nitrógeno orgánico	Está presente en forma de proteína, aminoácido y urea.
Amoniaco	Producido en la primera etapa de descomposición del nitrógeno orgánico.
Nitrito	Etapas inmediatas en la oxidación del amoníaco.
Nitrato	Producto final en la oxidación del amoníaco.

*Tabla 4: Características químicas de las AR: Fósforo Total*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Fósforo orgánico	Combinado con la materia orgánica.
Fósforo inorgánico	Orto fosfatos y poli fosfatos.

*Tabla 5: Características químicas de las AR: Materia Inorgánica*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
pH	Indicador de la condición ácida o alcalina de las AR. La oxidación biológica tiende a reducir el pH.
Alcalinidad	Resistencia a la variación del pH a causa de la presencia de bicarbonato, carbonato e iones hidroxilo.
Cloruros	Procede del agua potable, residuos antrópicos e industriales.
Aceites y grasas	Parte de la materia orgánica, su fuente son aceites y grasas usadas en la comida.
Metales pesados	Debido principalmente a vertidos industriales.

*Tabla 6: Características químicas de las AR : Gases*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Sulfuro de hidrógeno	Debido a la descomposición de la materia orgánica.



Metano	Procede de la descomposición de residuos domésticos.
Oxígeno	Se deriva por la infiltración superficial, agua de suministro y conexiones ilícitas.

---

### 2.2.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Usualmente las aguas residuales pueden ser tratadas o recuperadas de gran manera mediante la utilización de microorganismos. (Rengel, 2000) Según (Sperling, 2007), las características biológicas más importantes que se debe tener en cuenta en las aguas residuales son:

- Bacterias: Son organismos unicelulares presentes en varias formas y tamaños, son responsables de la estabilización de la materia orgánica y tienen una característica muy importante que es la capacidad de flocular, facilitando la separación de sólidos orgánicos coloidales de la fase líquida. Algunas bacterias son patógenas y causan enfermedades gastrointestinales.
- Algas: Son organismos fotosintéticos autotróficos que contienen clorofila, cuando se encuentran en presencia de la luz solar se alimentan del gas anhídrido carbónico produciendo la síntesis de nuevas células que generan la producción de agua y oxígeno. Pero si se encuentran en exceso pueden deteriorar la calidad del agua.
- Protozoarios: En su mayoría son aerobios o facultativos, se alimentan de bacterias, algas y otros microorganismos. Son esenciales en el tratamiento biológico manteniendo un equilibrio entre varios grupos.
- Virus: Son organismos parásitos que se forman por la asociación de material genético (ADN) y una estructura de proteína, son muy difíciles de remover dado a su origen patógeno y tamaño. Los virus provenientes del ser humano han llegado a ser el mayor peligro para la salud pública.

### 2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CUENCA

En el año de 1968 fue fundada la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA): Los estudios para los primeros Planes Maestros de Agua Potable y



Alcantarillado, se realizaron en 1970 y en 1983 fueron ejecutados, aquí se decidió optar por el diseño de alcantarillado del tipo combinado y posteriormente el diseño de alcantarillado del tipo separado (Ordoñez, 2008). De esta manera las aguas residuales de cuenca se caracterizan por componerse entre domésticas, industriales, aguas de infiltración y conexiones incontroladas.

### **AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS:**

Son aquellas aguas que han sido usadas por la comunidad, las mismas que contienen todos los materiales añadidos al agua durante su uso. Está compuesta por desechos humanos (heces y orinas) que contienen principalmente solidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales, todo esto junto con el agua usada en retretes, lavacararas, preparación de comida, lavado de ropa, limpieza, entre otros. Las AR domesticas aportan DBO, sólidos, grasas y coliformes. (Mara, 2003).

Las AR domesticas dependen de la variación del consumo de agua potable y para Cuenca se utiliza un valor de coeficiente de retorno de 0.8, lo que significa que el 80% del agua potable suministrada regresa al sistema de alcantarillado. Según (Rojas, Gestion Integral de Tratamiento de Aguas Residuales, 2002) la composición típica de aguas residuales domesticas es la que se muestra a continuación:

*Tabla 7: Composición Típica de AR domésticas*

<b>Constituyente</b>	<b>Concentración mg/l</b>
Solidos Totales	700
Disuelto	500
Fijos	300
Volátiles	200
En suspensión	200
Fijos	50
Volátiles	150
Solidos sedimentables	10



DBO <sub>5</sub>	200
DQO	380
Nitrógeno Total	40
Orgánico	15
Amoniacal	25
Fosforo Total	10
Cloruros	50
Alcalinidad	100
Grasas	100
Calcio	50
Magnesio	9
Sodio	50

### **AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES:**

Estas aguas están en función del tipo y tamaño de la industria, su proceso de manufactura, nivel de reciclaje, existencia de un pretratamiento, entre otros. Es decir, incluso en el caso que existan dos industrias que realicen un mismo producto, sus residuos pueden diferir en muchos aspectos debido a lo antes mencionado. Es por esta razón que se debe tener un adecuado control y evaluación de las descargas que cada industria realiza al sistema de alcantarillado o hacia un cuerpo receptor.

Las descargas de las Aguas Residuales Industriales no siguen una misma variación como lo hacen las Aguas Residuales Domesticas, los picos presentes en AR Industriales no necesariamente coinciden con los picos de las AR Domesticas, pero es importante estudiar este comportamiento para determinar puntos de interés para el tratamiento de las AR. (Sperling, 2007)

### **AGUAS DE INFILTRACION Y CONEXIONES INCONTROLADAS**



Son aquellas aguas que penetran de forma no controlada en la red de alcantarillado, además son procedentes del subsuelo y de aguas pluviales que son descargadas a la red a partir de bajantes, drenes de cimentaciones y alcantarillas pluviales (Metcalf, 2014).

#### 2.2.4.1. COMPOSICION AR CUENCA

Desde 1999 se mantiene un programa de control de la calidad del agua residual tanto en el afluente como en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba; dentro de este control se identifican las características físico-químico y biológicas de las aguas residuales. Esto junto a la implementación de interceptores marginales ha resultado en la mejora de la calidad del agua de los ríos, al punto que se puede ver pescar a la gente en sus orillas. A continuación, se muestra valores promedio del afluente de la PTAR de Ucubamba: (ETAPA E. , Planes Maestros, 1983).

**Tabla 8: Valores promedio anual del afluente de la PTAR Ucubamba; fuente: ETAPA**

PARÁMETRO	UNIDAD	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015
Caudal	l/s	1206	1137	1237	1226	1229	1295	1254	1496	1583	1591
DBO	mg/l	93	100	97	85	109	118	97	104	110	131
DQO	mg/l	219	248	240	205	261	293	235	236	272	287
S Totales	mg/l	-	-	-	-	-	524	497	468	460	470
SS Totales	mg/l	159	144	150	148	200	247	220	199	189	212
SS Volátiles	mg/l	-	106	97	86	107	126	103	96	276	114
S. Sedimentables	mg/l	3,4	3,12	2,87	2,76	3,14	3,68	2,05	2	3	5,62
N. Amoniacal	mg/l	8	10	9,5	9,1	11	12	11	11	12	13
N. Orgánico	mg/l	6,7	8,3	7,4	7,4	9,7	9,6	7,3	10	5	12
Nitritos + Nitratos	mg/l	-	-	-	-	-	0,41	0,76	0,5	0,72	1,01
Fósforo	mg/l	4,8	5,6	5,6	5,3	5,8	5,2	4	4	4,08	4,33
Sulfatos	mg/l	-	-	-	-	-	47	36	33	39	43
Sulfuros	mg/l	-	-	-	-	-	<0,16	<0,88	1	0,48	1,72
SS Hexano	mg/l	18	23	30	26	31	33	43	29	21	30



## **2.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

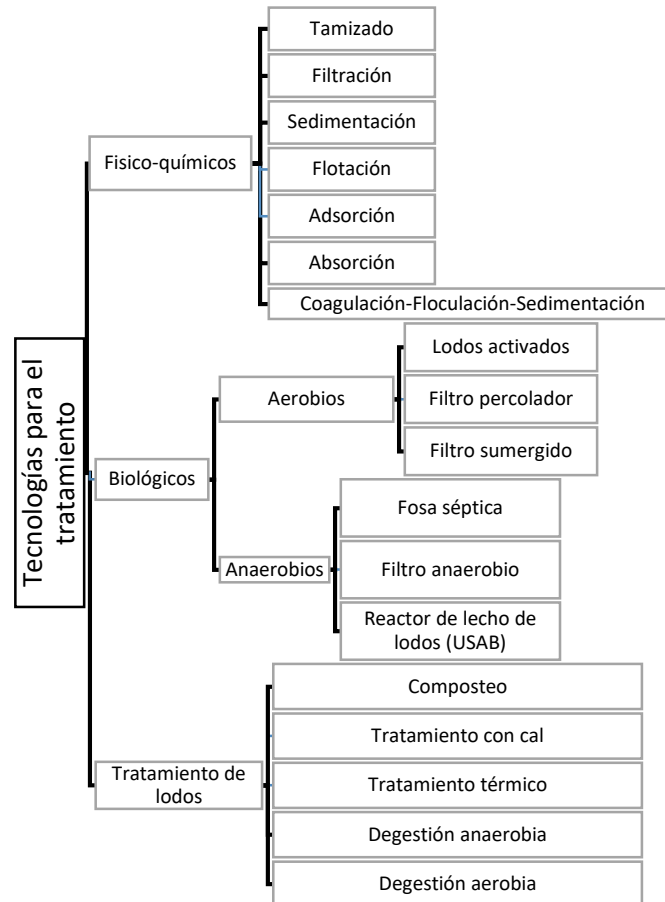
En las últimas décadas se han desarrollado varios procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de las AR, la aplicación de cada uno de ellos se limita a su grado de aplicabilidad, su coste económico y social, y de su eficiencia.

### **2.3.1. PROCESOS BIOLÓGICOS**

Los procesos biológicos son los más deseables ya que estos tienen un mayor rendimiento y menor costo; además son capaces de destruir completamente los contaminantes transformándolos en sustancias inofensivas como dióxido de carbono, metano, nitrógeno molecular, entre otros. Por lo tanto, la mineralización de compuestos minerales mediante microorganismos es un proceso completo (Daphne, 1994).

### 2.3.2. TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Existe una gran cantidad y variedad de procesos unitarios como se muestran en la siguiente figura:



*Figura 1: Tecnologías para el tratamiento de las Aguas Residuales*

Estos componentes individuales se combinan y pueden formar trenes de tratamiento, físicos, químicos, biológicos o físicos-químicos.



### **2.3.3. DEFINICIÓN DE NIVELES DE TRATAMIENTO DENTRO DE UN SISTEMA**

#### **2.3.3.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR**

Es el proceso para eliminar aquellos componentes que puedan provocar problemas a nivel operacional o de mantenimiento en los sistemas auxiliares. Por lo general se realiza mediante cribas o rejillas para eliminar residuos grandes como ramas, animales muertos, entre otros. Se pueden utilizar también trituradores para reducir el tamaño de ciertos desechos y así incorporarlos al tratamiento.

#### **2.3.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO**

Es para la remoción mediante sedimentación de una porción de sólidos y materia orgánica suspendida mediante gravedad. Por lo general se logra el 60% de remoción en sólidos suspendidos y 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

#### **2.3.3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

En esta etapa se elimina, generalmente por medios biológicos, la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble). Esencialmente, los microorganismos presentes en el agua transforman los contaminantes en energía para su metabolismo, y otros compuestos inorgánicos e inorgánicos. Los procesos biológicos se dividen en anaerobios y aerobios y su principal objetivo es reducir los nutrientes tales como el fósforo y el nitrógeno.

#### **2.3.3.4. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO**

Es el tratamiento que se realiza después del secundario con el fin de remover compuestos como sólidos suspendidos, nutrientes y aquella materia orgánica no biodegradable presente en el agua. Por lo general este proceso se realiza cuando el agua debe alcanzar cierta calidad para un uso específico dado para después del tratamiento (Noyola & Morgan-Sagastume, 2013).





## **2.3.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA**

### **2.3.4.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PTAR**

La Planta de Tratamiento está ubicada en la parroquia Machángara, su superficie aproximada es de 93,02 ha. En Cuenca, el tratamiento de aguas residuales está a cargo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Ucubamba. La PTAR trata actualmente el 95 % de las aguas negras de la ciudad mediante Lagunas de estabilización (ETAPA, 2017).

Las lagunas de estabilización son un método simple para el tratamiento de aguas residuales, sus tres objetivos principales son (Mendoza, 1999):

- Remover la materia orgánica y así evitar la contaminación.
- Eliminar los organismos patógenos que representan un riesgo para la salud.
- Hacer su efluente apto para otros usos, o para descarga en cuerpos receptores.

Las principales ventajas de este tratamiento son su bajo costo, bajo consumo energético y son simples de construir, por otro lado su principal desventaja es que se necesita una gran cantidad de terreno disponible para la localización de las lagunas (Mendoza, 1999).

### **2.3.4.2. TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN USADAS EN LA PTAR DE UCUBAMBA**

La PTAR de Ucubamba está conformada por 6 lagunas: 2 Aireadas, 2 Facultativas y 2 de maduración, conectadas paralelamente entre lagunas iguales y linealmente entre lagunas de diferente tipo (ETAPA, 2017).

#### **1. LAGUNAS AIREADAS**

Equipadas con aireadores flotantes encargados de la aireación artificial de la laguna para que esta pueda asimilar las sustancias orgánicas solubles presentes en el agua en un período reducido. Aquí el nivel de sólidos y carga orgánica se reducen hasta que sean aptos para pasar a la siguiente laguna.

## 2. LAGUNAS FACULTATIVAS

Su objetivo principal es almacenar y asimilar sólidos biológicos, regular la carga biológica y de oxígeno mediante las algas ubicadas en la superficie. Conformada por 3 capas, la primera es la superficial aerobia, la segunda es una zona facultativa intermedia y por último la anaerobia donde se acumulan los lodos generados.

## 3. LAGUNAS DE MADURACIÓN

Tiene el mismo objetivo que las lagunas facultativas, pero con la diferencia de que no acumula lodos en el fondo, en esta se registra indicadores que demuestran agua de mejor calidad.



*Ilustración 1: Disposición de lagunas en la PTAR de Ucubamba*

Además de las lagunas la PTAR cuenta con una planta para la deshidratación de los lodos para su posterior disposición final en el relleno sanitario de la ciudad (ETAPA, 2017). El efluente de la PTAR descarga en el río Cuenca.



### 2.3.4.3. PARÁMETROS DE CALIDAD DE PTAR UCUBAMBA

Debido a que no existe por el momento ninguna ley específica para el Agua Residual tratada, la PTAR evalúa la calidad del agua del río Cuenca aguas abajo del punto de la descarga; toma como referencia la normativa TULSMA (TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE), en la cual se especifican diferentes parámetros a cumplir según el uso del agua, como se explica más adelante. Los parámetros que la planta examina para evaluar su desempeño para que las características del Río Cuenca cumplan con Criterios de Calidad para uso estético están establecidas en el Anexo N°. 1 Acuerdo Ministerial 097-A. A continuación se muestran los valores promedio anual del efluente de la PTAR (ETAPA E. , 2017)

*Tabla 9: Valores promedio anual del efluente de la PTAR Ucubamba; fuente: ETAPA*

PARAMETRO	UNIDAD	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015
pH	-	-	-	-	-	-	7,5	7,31	7,44	7,44	7,54
Color real	UC	-	-	-	-	-	47,48	31,59	41,8	48,07	42,38
DBO Total	mg/l	19	21	19	19	16	27	22	27	25	31
DBO Soluble	mg/l	6,5	5,9	6,5	4,7	5	6,5	5,5	6,19	6,16	7,63
DQO Total	mg/l	90	92	90	74	74	101	67	78	85	104
DQO Soluble	mg/l	43	41	43	35	40	46	34	39	43	50
S Totales	mg/l	-	-	-	-	-	332	305	316	311	316
SS Totales	mg/l	30	32	30	26	23	34	30	39	36	40
SS Volátiles	mg/l	-	30	97	26	22	33	28	34	34	42
S. Sedimentables	mg/l	0,12	0,09	0,12	0,12	0,04	0,02	0,02	0,06	0,05	0,4
N. Amoniacal	mg/l	13	15	13	13	16	16	15	15	14	15
N. Orgánico	mg/l	4,3	4,9	4,3	4,5	4,4	5,9	6,4	7,6	8,74	10,65
Nitritos + Nitratos	mg/l	-	-	-	-	-	<0,15	0,11	0,14	0,24	0,24
Fósforo	mg/l	2,4	2,9	2,4	2,5	3,1	3	2,5	2,09	3,74	2,45
Sulfatos	mg/l	-	-	-	-	-	43	35	35	37	43
Sulfuros	mg/l	-	-	-	-	-	<0,13	<0,4	0,41	0,46	1,14
SS Hexano	mg/l	6,4	8,7	6,4	9	11	13	14	16	9	11
C. Termo tolerantes	NMP/100 ml	4,19 E+03	>7,48 E+03	4,19 E+03	>5,54 E+03	6,37 E+03	4,6 E+03	>5,7 E+04	1,19 E+04	6,77 E+04	1,06 E+05
Parásitos	N/1	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	-	-	-
Aluminio	μ/1	<160	<129	<160	<189	<191	277,3	195	245	206	150



Bario	μ/1	-	-	-	-	-	-	<61	110	113	39
Cromo	μ/1	<4,2	<4,8	<4,2	<3,3	<6,6	<3,2	<20	23	27	19
Cobre	μ/1	<6,9	<20	<6,9	<6,9	7,7	13	<42	13	12	13
Níquel	μ/1	<12	<15	<12	<14	<12	20	<50	<50	<50	47
Zinc	μ/1	45	48	45	<79	65	35	35	85	44	52
Plomo	μ/1	<13	<21	<13	<24	<22	40	<100	64	49	47
Cadmio	μ/1	<2	<4,3	<2	<3,2	<2,9	<6	<20	13	<10	9
Arsénico	μ/1	-	-	-	-	-	<0,1	<30	30	30	28
Hierro	μ/1	-	-	-	-	-	415	397	422	393	355
Manganeso	μ/1	-	-	-	-	-	123	112	103	95	89
Mercurio	μ/1	-	-	-	-	-	<0,05	<7,7	12	6,6	5,63
Boro	μ/1	-	-	-	-	-	-	<81	67	67,23	61
Cobalto	μ/1	-	-	-	-	-	-	<10	<10	16	9
Estaño	μ/1	-	-	-	-	-	-	<300	0,3	296	277
Plata	μ/1	-	-	-	-	-	-	<10	7	11	7
Selenio	μ/1	-	-	-	-	-	-	<200	194	196	188
Vanadio	μ/1	-	-	-	-	-	-	<5	<5	6	6
P. Organoclorados	μ/1	-	-	-	-	-	133	296	-	-	-
P. Organofosforados	μ/1	-	-	-	-	-	873	182	-	-	-

#### 2.4. AGUA SUPERFICIAL COMO CUERPO RECEPTOR

Las aguas superficiales pueden ser resilientes y frágiles a la vez, se encuentran en un constante cambio debido a fuerzas naturales y actividades antrópicas. El ecosistema de los ríos incluye características hidrodinámicas como profundidad de agua y velocidad de flujo; características químicas como oxígeno disuelto, cantidad de sólidos, nutrientes, entre otros y características biológicas como microorganismos, algas, entre otros. (Zhen, 2008). Los ríos a diferencia de lagos, presas, embalses, entre otros, se encuentran en constante movimiento y esto hace que exista siempre un intercambio de oxígeno desde la superficie hacia dentro del río como oxígeno disuelto, el mismo que es utilizado para la alimentación de organismos presentes en el agua. (Alley, 2007)



### **2.4.1. CALIDAD**

La cantidad de agua en la tierra es finita, y su calidad está siendo amenazada por una interminable cantidad de contaminantes. Estos contaminantes son un serio problema hoy en día y a pesar de todos los esfuerzos por controlarlos, la afección que estos producen, siguen avanzando. (Vigil, 2003) Usualmente la calidad del agua es definida en términos de concentraciones de diferentes parámetros, tales como: sustancias disueltas o suspendidas en el agua, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, fitoplancton, bacterias y metales pesados. (Zhen, 2008)

### **2.4.2. CONTAMINACIÓN**

Se entiende por contaminación a cualquier cambio que experimente el agua, ya sea físico, químico o microbiológico, y que se ve afectada en su calidad. La contaminación de un río puede ser influenciado por condiciones naturales, así como por actividades antrópicas

#### **2.4.2.1. CONDICIONES NATURALES**

##### **GEOLOGÍA**

La geología de la zona es muy importante ya que determina en gran manera los minerales presentes en el agua. Estos minerales son disueltos y entran en la composición del agua cuando esta pasa sobre rocas, suelos, entre otros. (Vigil, 2003)

##### **CLIMA**

El clima afecta la calidad del agua por cambios de temperatura, precipitación y viento. La temperatura afecta directamente la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua, el mismo que es necesario para la vida acuática y de distintos organismos. La cantidad de precipitación determina las características del cuerpo receptor, haciéndolo más o menos susceptible a contaminantes y afectando su capacidad de depuración. Por último, el viento es responsable de mezclar e introducir oxígeno de la superficie como oxígeno disuelto en el agua. (Vigil, 2003)

##### **VEGETACIÓN**



La calidad del agua, también es influenciada por la presencia o ausencia de vegetación. Si esta es abundante la vegetación cae al río, se descompone, mezcla y forma parte de su composición, mientras que si existe ausencia de vegetación el agua contiene menor cantidad de material orgánico lo que se traduce en aguas que contienen muy pocos nutrientes para la vida de organismos acuáticos. (Vigil, 2003)

#### **2.4.2.2. ACTIVIDADES ANTRÓPICAS**

Muchas actividades antrópicas son un riesgo para la calidad del agua, unas existen desde hace muchas generaciones y otras comienzan recientemente. Los ríos han sido usados como medio de disposición y transporte final de desechos generados por una comunidad, degradando la calidad del río. La capacidad natural de asimilación, conforme va creciendo la población y la industrialización, va llegando a su límite y los ríos se han convertido en cuerpos inertes o incapacitados para la biota acuática. A pesar que las aguas residuales ahora son tratadas antes de ser dispuestas hacia los ríos, los contaminantes aun presentes en estos efluentes presentan concentraciones que pueden afectar la calidad de los mismos. (Vigil, 2003)

#### **2.4.3. MOVIMIENTO DE CONTAMINANTES**

Cuando un contaminante entra en el agua, su concentración se ve afectada por varios fenómenos, entre ellos los más importantes son: (Sierra, 2011)

- Advección
- Dispersión / Difusión

##### **2.4.3.1. ADVECCIÓN**

Es el mecanismo mediante el cual una sustancia o contaminante se transporta en un cuerpo de agua debido a la fuerza o impulso del caudal. El transporte por el fenómeno de advección es directamente proporcional a la velocidad del fluido. (Sierra, 2011).

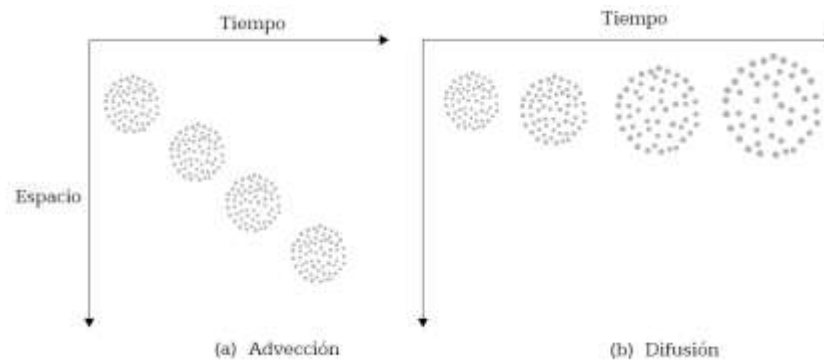
##### **2.4.3.2. DISPERSIÓN**

La dispersión es un fenómeno que se debe al movimiento propio que poseen las moléculas, pero también el contaminante se puede dispersar debido a las diferencias de velocidad entre dos sitios

en el agua. En este fenómeno el contaminante cambia su concentración, pero no su composición química (Sierra, 2011).

### 2.4.3.3. DIFUSIÓN

En este fenómeno a diferencia de la advección, la masa se va diluyendo en el tiempo con un movimiento neto despreciable de su centro de masa, esto debido al movimiento al azar en el tiempo que tienen las moléculas de agua. El contaminante al moverse cambia su concentración, pero no su composición química (Sierra, 2011).



*Ilustración 2: Diferencia entre advección y difusión*

### 2.4.4. AUTODEPURACIÓN

Dentro de las capacidades que tiene el agua de río, está la de su autodepuración. A continuación, se describirá límites de sus diferentes propiedades, contaminantes y características del agua de río:

#### **Oxígeno disuelto**

Se estableció un límite mínimo de 5 mg/l, el mismo que permite un ambiente adecuado para los peces y la biota. (Bain & Stevenson, 1999)

#### **Temperatura**

El agua caliente o tibia afecta a muchas especies acuáticas y está íntimamente relacionada con el oxígeno disuelto, como se muestra más adelante en la sección 2.4.5, razón por la cual a industrias que utilizan el agua como medio de enfriamiento para sus procesos de producción, deben



descargar las mismas después de un determinado tiempo permitiendo el enfriamiento de la misma. (Vigil, 2003)

### **pH**

Cuando los valores de pH son menores a 4 las especies presentes en el agua se las considera bajo estrés, un valor adecuado de pH para la biota esta entre 6.5 y 9. (Bain & Stevenson, 1999) La mayoría de especies acuáticas no pueden vivir si el pH se encuentra fuera de estos límites.

### **Sólidos suspendidos totales**

Cuando se trata de un río cuyo uso será el abastecimiento de agua potable, la concentración máxima establecida es de 250 mg/l, pero para otros usos se ha llegado a tener concentraciones de hasta 1000 mg/l. (Bain & Stevenson, 1999)

### **Nitratos**

Los nitratos son nutrientes esenciales para la biota acuática, así como para la producción de algas. La USEPA estableció un límite máximo de 10 mg/l. (Bain & Stevenson, 1999)

### **Amoniaco**

Para la preservación de la vida acuática su límite es de 0.02 mg/L. El Amoniaco depende directamente de la temperatura y del valor de pH. (Alley, 2007)

### **Manganeso**

Para la protección de ciertos organismos acuáticos y preservación de la biota acuática, se estableció un límite de 100 ug/l. (Alley, 2007)

## **2.4.5. REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO**

El oxígeno disuelto (OD) entra al agua a través de la fotosíntesis y la atmosfera; es usado en la respiración de peces, bacterias, animales, entre otros. Un adecuado valor de OD es esencial para la biota acuática y ha sido uno de los indicadores más frecuentes en cuanto a calidad del agua.

*Tabla 10: Estado del Agua según el Oxígeno Disuelto*

<b>OD (mg/l)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Consecuencias</b>
------------------	--------------------	----------------------





0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
<3	Crisis biótica	Desaparición de organismos y especies sensibles
5	Límite mínimo	Necesario para mantener la biota acuática
5-8	Aceptable	Adecuado para la vida de la mayoría de especies de peces
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

La temperatura es un factor importante que afecta el nivel de saturación de oxígeno en el agua, disminuyéndolo conforme aumenta la temperatura como se observa en la siguiente tabla: (Bain & Stevenson, 1999).

*Tabla 11: Variación del Oxígeno de Saturación según la Temperatura*

Temperatura (°C)	Oxígeno de Saturación (mg/l)
10	10,92
12	10,43
13	10,2
14	9,98
15	9,76
16	9,56
17	9,37
18	9,18
19	9,01
20	8,84
21	8,68
22	8,53
23	8,38
24	8,25
25	8,11

La U.S. Enviromental Protection Agency (USEPA) estableció un valor mínimo de oxígeno disuelto de 5mg/l necesario para mantener la biota acuática. Y, alrededor de los años 2000 en Cuenca se establecieron metas de calidad críticas, en las cuales se establece que en el punto de



descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba el río Cuenca disponga de por lo menos 5mg/l de Oxígeno disuelto. (Yanez, 2000)

## **2.5. EUTROFIZACIÓN DE LOS CUERPOS ACUÁTICOS**

Como se mencionó anteriormente la eutrofización es el enriquecimiento de nutrientes de las aguas. Fue Naumann quien introdujo el concepto general de Oligotrofia y Eutrofia en 1919, para esto tomo como referencia la poca o gran existencia de algas en el lugar de estudio. Donde el primer término se usaba para los lagos con poco contenido de algas y el segundo para expresar todo lo contrario.

### **2.5.1. PROCESO EUTROFIZACIÓN**

La principal causa de la eutrofización es el aumento de nutrientes es el inicio de varios cambios en el cuerpo de agua. Cuyos efectos son varios, primero se aumenta la turbiedad del agua debido al plancton, se pierden hábitats y Oxígeno Disuelto (OD). La pérdida de OD se ve agravada cuando este escapa a la superficie debido a que el fitoplancton ocupa la superficie.

### **2.5.2. NUTRIENTES**

Las plantas requieren muchos nutrientes tales como: carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, estos compuestos son llamados macronutrientes de los cuales el carbono y el potasio siempre están presentes en cantidades adecuadas pero el nitrógeno y el fósforo se encuentran en cantidades pequeñas lo que les hace nutrientes limitantes del crecimiento algal (Sierra, 2011).

#### **NITROGENO**

El nitrógeno es un componente importante para el crecimiento de algas, niveles altos pueden ser debidos a vertidos de fertilizantes utilizados para la agricultura. (Bain & Stevenson, 1999) La USEPA estableció un límite de 10 mg/l para este componente.

#### **FÓSFORO**

Este componente químico del agua limita la producción de plantas en el río. (Bain & Stevenson, 1999) Según Winger para concentraciones mayores a 0.1 mg/l de fósforo en el agua, la



producción de algas se vuelve un problema por su rápida proliferación, mientras que la USEPA estableció un límite máximo de 0.5 mg/l.

### **2.5.3. NIVELES DE EUTROFIA**

Los estados tróficos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Oligotrófico: Ecosistemas pobre en nutrientes para plantas y organismos, rico en oxígeno disuelto.
- Mesotrófico: estado entre oligotrófico y eutrófico.
- Eutrófico: Ecosistemas rico en nutrientes para plantas y organismos. Es este ambiente la parte de superior del ecosistema tiene alto nivel de oxígeno disuelto, por el contrario, la parte de abajo presenta déficit de oxígeno.
- Hipertrófico: Es el desarrollo desmesurado de los nutrientes para plantas y organismos.

El cuerpo de agua puede presentar varios estados a lo largo del año esto dependerá de las condiciones climáticas y de las descargas realizadas al mismo. El paso de un estado a otro representa un cambio importante en las especies presentes.

### **2.5.4. CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN**

Las principales causas antrópicas, para el proceso de eutrofización son:

- Descarga de aguas residuales sin tratamiento previo.
- El uso en exceso de fertilizantes que contienen nitrógeno o fósforo, los cuales llegan a los ríos debido a la escorrentía superficial que arrastra estos nutrientes y causan contaminación en el agua.

Cuando los ecosistemas acuáticos se encuentran eutrofizados la proliferación de algas, cianobacterias y macrófitos aumenta. El desarrollo de estas bacterias causa opacidad que impide que la luz solar llegue a las partes profundas del cuerpo de agua. La principal consecuencia es la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en lugares cada vez menos profundos y por lo tanto, disminución de la producción del oxígeno libre. De forma gradual el fondo del sistema acuático se convierte en un ambiente anaerobio (Moreno, Quintero, & Lopez, 2010).



### 2.5.5. ÍNDICE DEL ESTADO TRÓFICO (IET O TSI)

Carlson (1997) desarrollo un índice que varía entre 0 y 100, basado en la transparencia determinada con el disco de Secchi (DS) o por la concentración de clorofila a (Clorf a) la cual puede ser relacionada con la transparencia. En donde el valor 0 representa un estado oligotrófico y 100 hipereutrófico. El cálculo del TSI es uno de los métodos más utilizados para evaluar el grado de eutrofización de un cuerpo acuático

Tabla 12: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua; Fuente: Carlson (1977)

Estado de eutrofia	TSI	D <sub>s</sub> (m)	Clorf a (mg/m <sup>3</sup> )
	100	64	0,04
Oligotrófico (TSI>70)	90	32	0,12
	80	46	0,34
	70	8	0,94
Mesotrófico (40<TSI<70)	60	4	2,6
	50	2	6,4
	40	1	20
Eutrófico (00<TSI<40)	30	0,5	56
	20	0,25	154
	10	0,12	427
Hipereutrófico 0<TSI<10	0	0,006	1183

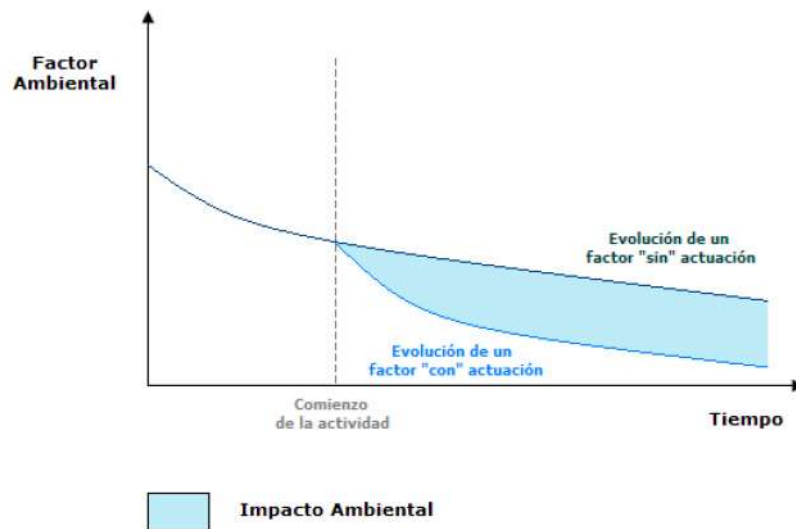
La eutrofización de un cuerpo causa la modificación de las características del hábitat por la transformación del conjunto de plantas acuáticas, producción de toxinas generadas por algunas algas y la pérdida de oxígeno.

### 2.6. IMPACTO AMBIENTAL

Antiguamente la evaluación de una actuación o proyecto se basaba únicamente en criterios técnicos, económicos y sociales, pero ahora es necesario incluir criterios ambientales. El Impacto Ambiental (IA) puede definirse como la alteración o modificación del ambiente o entorno, esto producido por el efecto de Actividades antrópicas. Cabe recalcar que no se puede determinar un

IA si este es originado por fuerzas naturales, tales como inundaciones, sismos, entre otros (Gomez, Evaluacion de Impacto Ambiental, 2003).

El IA se mide como la diferencia entre la evolución en el tiempo de un factor ambiental en ausencia de la actividad causante y la que se tendría en presencia de la misma. (Barranates, 2007)



*Ilustración 3: Concepto de Impacto ambiental, fuente: Barranates, 2007*

### 2.6.1. CUANTIFICACION DEL IMPACTO

Comúnmente el Impacto Ambiental es identificado por el efecto de una acción simple de una actividad sobre uno o varios factores ambientales. Es importante que estos elementos queden explícitos dentro de la definición de cualquier IA. Para que esto ocurra es necesario determinar el signo y valor del Impacto. (Gomez, 2003)

#### **SIGNO**

El signo se refiere al carácter del Impacto, ya sea positivo si se trata de un impacto benéfico o negativo si el impacto es perjudicial. (Cruz, Gallego, & Gonzales, 2009)

#### **VALOR**

Se refiere a la cantidad, calidad, grado y forma en que un factor es alterado. El valor se puede explicar en términos de Magnitud e Incidencia. (Gomez, 2003)



### 2.6.1.1. MAGNITUD

La magnitud de un impacto puede definirse como la cantidad del factor afectado, esta cantidad puede expresarse en: (Conesa, 2010)

- Cantidades Absolutas: temperatura, pH, concentración, entre otros.
- Unidades relativas: porcentajes, estadística, entre otros.
- Índices y expresiones matemáticas: índice de calidad de agua, nivel de presión, entre otros.
- Expresiones cualitativas: combinación de olores, detección de compuestos, entre otros.

Por ejemplo, la alteración de una cierta superficie de vegetación de determinada calidad ecológica; la afección de un cierto número de edificios históricos artísticos de diferente mérito; la modificación en la calidad del agua de un río aguas arriba de puntos de toma de agua para comunidades, etc.

### 2.6.1.2. INCIDENCIA

Se refiere a la severidad, es decir el grado y la forma de la alteración (Gomez, 2003), esto responde a una serie de atributos tipo cualitativos que describen el modo en que se produce. (Conesa, 2010)

Los atributos más representativos según la Universidad Politécnica de Madrid se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 13: Atributos cualitativos para determinar la Incidencia de un factor afectado*

Atributo	Característica	Valor
Naturaleza	Benéfico	+
	Perjudicial	-
	Sin calificación	x
Inmediatez	Directo	2
	Indirecto	1
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	2
Sinergia	Si	2
	No	1
Momento	Corto	3
	Medio	2



	Largo Plazo	1
Persistencia	Permanente	3
	Temporal	1
Reversibilidad	Si	1
	No	3
Recuperabilidad	Si	1
	No	2
Continuidad	Continuo	2
	Discontinuo	1
Periodicidad	Periódico	2
	Irregular	1

El valor de la Incidencia viene dado por:

$$I = \frac{V_{tot} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad Ec(1)$$

Donde:

V<sub>tot</sub>: Suma total de los valores dispuestos de los atributos analizados para determinado factor afectado

V<sub>min</sub>: Suma total de los valores mínimos de los atributos analizados para determinado factor afectado

V<sub>max</sub>: Suma total de los valores máximos de los atributos analizados para determinado factor afectado

### 2.6.1.3. IMPACTO

El impacto finalmente viene dado por la siguiente formula:

$$IA = Signo \times Magnitud \times Incidencia \quad Ec(2)$$



## **2.6.2. IMPACTO DE CONTAMINACIÓN**

Este tipo de impacto denominado de contaminación, abarca tanto la emisión de carga contaminante, su dispersión y transformación en componente del medio, provocando de esta manera consecuencias sobre el hombre y el Medio Ambiente (MA). La clave de este tipo de impacto está en la superación de la capacidad de asimilación que tiene el medio, en el caso de cuerpos de agua como medios receptores su capacidad de asimilación viene dado por su autodepuración. (Gomez, 2003)

### **2.6.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La calidad del agua se podría decir que es una función de las características del suelo y de su uso, y cuya contaminación depende de dos factores: el primero, su condición natural que resulta afectada por la escorrentía, infiltración, lluvia, entre otros todo esto produce un impacto tras el contacto agua-partícula, y el segundo la interferencia con las Actividades antrópicas que no es más que la descarga de sus residuos tanto líquidos como sólidos por los diferentes usos del agua. (Sperling, 2007). Las descargas provenientes de la Actividad antrópica deben ser liberadas tanto al aire, agua y suelo (potenciales reservorios), pero estos llamados “potenciales reservorios” solo pueden aceptar una cantidad limitada de sustancias físicas, químicas y biológicas sin sufrir un deterioro significativo. El medio ambiente puede llegar a deteriorarse hasta el punto que el crecimiento biológico sostenible no puede ocurrir, dando como resultado un daño irreversible. (Alley, 2007)

En muchas ocasiones los cuerpos receptores de estos residuos no son capaces de absorber y neutralizar la carga contaminante, es por esta razón que las aguas residuales deben ser tratadas antes de ser descargadas. El agua una vez tratada debe ser devuelta al medio ambiente en condiciones tales que no la deteriore. (Rojas, Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales, 2002)

### **2.6.3. CALIDAD AMBIENTAL**

Está definida como la calidad del medio físico o natural, la misma que se encuentra en estrecha relación con la calidad de vida. El moderno concepto de calidad de vida, es diferente al tradicional que incluía como componentes únicamente el nivel de renta y las condiciones de vida y trabajo; es importante incluir también la calidad ambiental, y aunque este es variable en el tiempo y en el





espacio, va ganando sentido en la medida que una sociedad se va concientizando sobre la problemática ambiental. La calidad ambiental se inserta en la medida que una sociedad detecta la necesidad de disponer de ecosistemas conservados, aire puro, cuerpos de agua que cumplen índices de calidad, entre otros. Para cada factor del medio se puede identificar un indicador a través del cual medir su calidad; las unidades del indicador luego son convertidas en unidades de calidad ambiental comparables, mediante las correspondientes funciones de transformación; la escala de la puntuación para la calidad ambiental esta entre 0 y 1. (Conesa, 2010).

#### **2.6.4. INDICE DE CALIDAD DEL AGUA**

Este índice es una herramienta estadística que sirve para estimar y proporcionar un valor a la calidad del agua, para esto incorpora valores individuales de una serie de parámetros los mismos que deben ser medidos físicamente (Conesa, 2010). Mediante este índice es posible la comparación de niveles de contaminación en diferentes áreas, además de que se puede determinar el grado de contaminación existente en el agua a la fecha del muestreo, sus valores resultantes varían de 0 a 100, siendo 0 para aguas altamente contaminadas y 100 para aguas en excelentes condiciones. (Conagua & Semarnat, 2010)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un método simple y conciso, el mismo que permite una fácil interpretación de los datos, mostrar la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua, pero tiene una gran limitación, no se pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua por lo que se podría decir que no proporciona información completa sobre la calidad del agua. (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

### **2.7. LEGISLACIÓN AMBIENTAL**

En cuanto a la normativa de referencia se considerará la establecida en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), con dos criterios de evaluación: criterios de calidad por usos del agua del río y criterios generales de descarga de efluentes. Las tablas de valores límites dados por el TULSMA, para cada criterio, se encuentran en el Anexo C.



## **CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.1.1. UBICACIÓN**

La zona de estudio comprende el tramo del río Cuenca que pasa adyacente a la PTAR de Ucubamba ubicada en la parroquia de Nulti. El río Cuenca es la unión de los cuatro ríos de la ciudad y comienza con la unión de río Tomebamba con el Machángara unos 1,74km antes de las instalaciones de la planta.

#### **3.1.2. ANTECEDENTES**

El río Cuenca desde el año 2000 cuenta con interceptores marginales en sus ríos afluentes y quebradas más significativas (Ver Ilustración 4), en total se han construido aproximadamente 58 Km de interceptores los mismos que tienen el objeto de detener el elevado número de descargas de aguas residuales hacia los ríos. En el año 2015 se consiguió una recolección superior al 90% de las aguas residuales domesticas e industriales generadas en Cuenca. (Planta de agua para limpiar ríos de Cuenca, 2002)

ETAPA en el año 2000 estableció metas de calidad para el agua de los ríos, entre las metas esta: (Yanez, 2000)

- Coliformes fecales máximo 4000 NMP/100ml
- Demanda bioquímica de oxígeno entre 5 y 10 mg/l
- Oxígeno disuelto mínimo 5 mg/l
- Materiales flotantes, aceites y grasas virtualmente ausentes

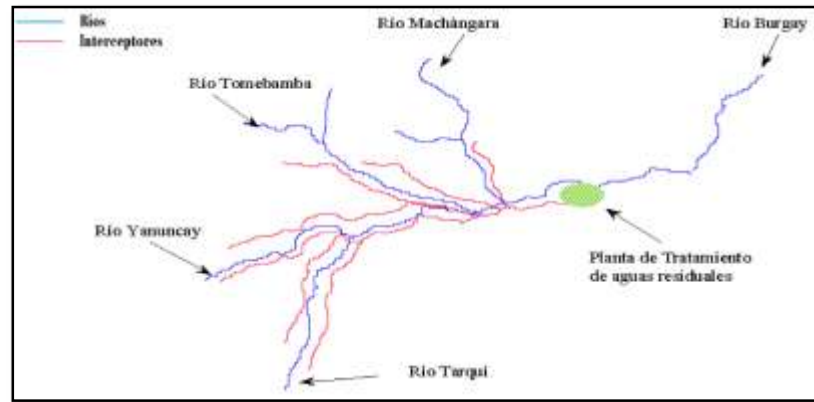


Ilustración 4: Esquema de interceptores, fuente: (Yanez, 2000)

### 3.1.2 CLIMA

La zona cuenta con dos estaciones invierno y verano, y el clima depende de cada una de ellas. El invierno comienza desde enero hasta julio, siendo marzo y abril los meses que presentan más precipitaciones; por otro lado, el verano va desde junio a diciembre siendo agosto y septiembre los meses más secos.

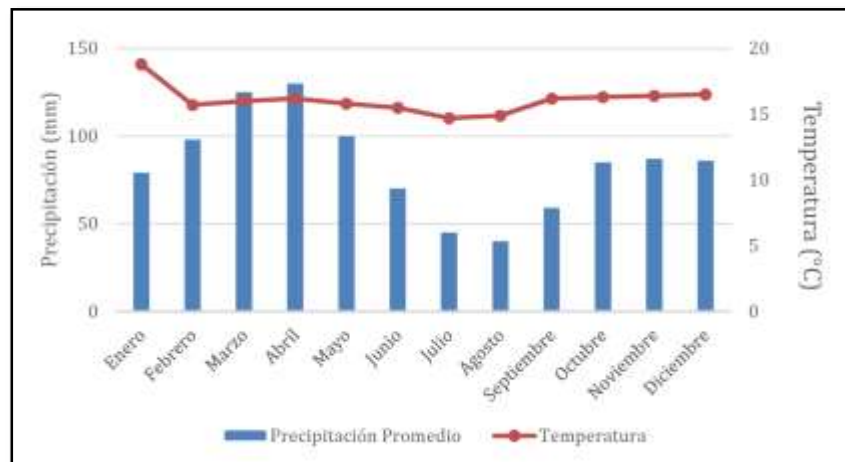


Ilustración 5: Variación temperatura, precipitación anual; año 2009; Fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA

### 3.1.3 TRAMO DE ESTUDIO

Para evaluar la calidad del río se establecieron dos estaciones de muestreo, la primera ubicada unos metros antes de la primera descarga y el segundo punto ubicado a 150 m después de la segunda descarga. El segundo punto se eligió siguiendo los criterios necesarios para que se realice

una homogenización completa del efluente de la PTAR y el agua del río. En la siguiente tabla encontramos las coordenadas exactas de los puntos de aforo.

*Tabla 14: Coordenadas de las estaciones de medición*

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO (WGS84)	
1	729087,687 E      9682949,343N
2	729396,193 E      9682928,35 N



*Ilustración 6: Ubicación de las estaciones de muestreo*

### 3.1.4 SECCIÓN DE AFORO

Para la determinación de caudales, se estableció la sección del río que se encuentra en el puente de Ucubamba, la cual nos fue facilitada por el PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo de la Universidad de Cuenca). Esta sección se encuentra a 1,66 km aguas arriba de la primera descarga. Cabe indicar que no existe ningún afluente hacia el río en este tramo.

La sección tiene como punto de referencia la base del puente, el cual tiene una longitud total de 35m y está abscisado cada dos metros desde el margen derecho del río como se muestra en la siguiente figura.

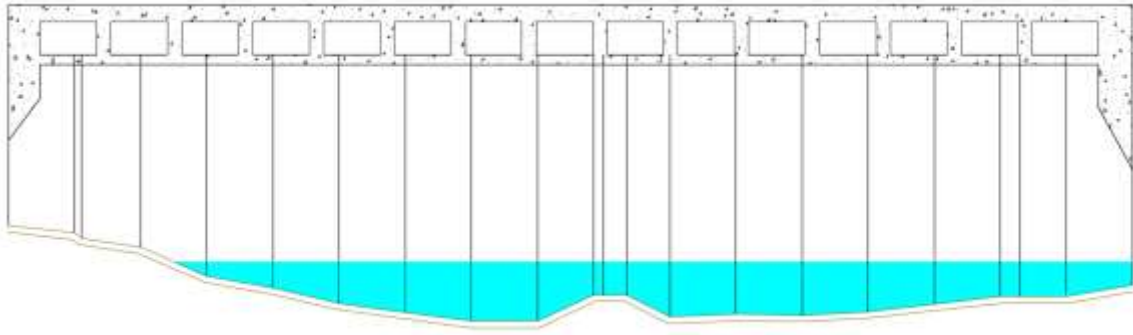


Ilustración 7: Sección de aforo; puente de Ucubamba

## 3.2. INSTRUMENTACIÓN

### 3.2.1. AFOROS DE CAUDAL

Para determinar el caudal es necesario conocer la velocidad y el área transversal del río, para ello existen muchos métodos, unos más precisos que otros.

$$Q = V \times A \quad Ec(3)$$

#### 3.2.1.1. VELOCIDAD

Para determinar la velocidad del río Cuenca se optó por utilizar el método del Flotador.

#### FLOTADOR

Este método usualmente se utiliza cuando no se dispone de equipos de medición. Se usa un flotador con el cual se registra la velocidad superficial del agua, para esto se puede utilizar un pequeño pedazo de madera, corcho, botella, entre otros. (Agricultura, 2005)

Para el cálculo se utilizó:

$$Q = C \times A \times V \quad Ec(4)$$

$$V = \frac{e}{t} \quad Ec(5)$$

Donde:

C: Factor de corrección de velocidad superficial

V: Velocidad (m/s)

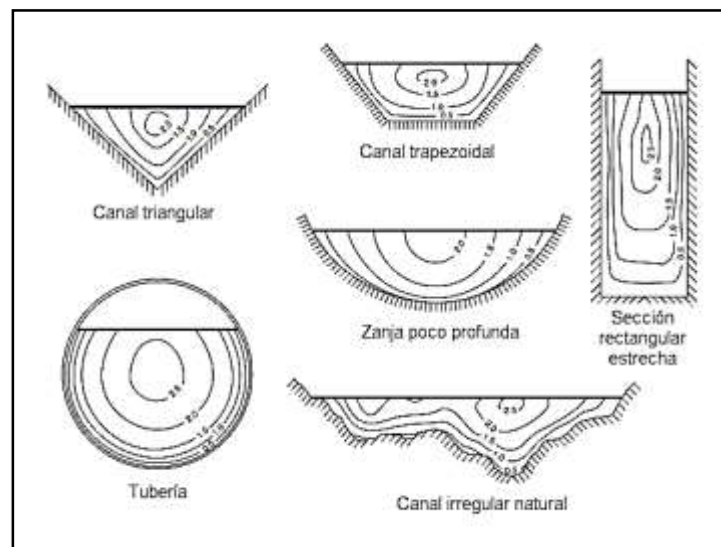
e: Espacio recorrido por el flotador (m)

t: Tiempo de recorrido del espacio “e” por el flotador.

A: Área de la sección transversal

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Como este método es una aproximación, y dado que existe una variabilidad en la precisión dada en sí, así como por el tipo de río que se estudió, fue necesario reajustar el valor del caudal mediante factores empíricos de corrección de la velocidad superficial (C), se eligió un valor de 0.8 dado que en (Senamhi, 2011) se explica que el mismo varía entre 0.75 y 0.9.

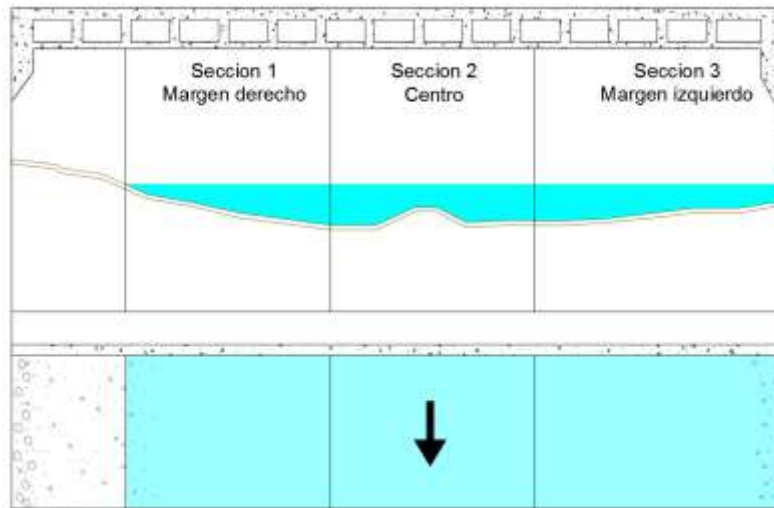


*Ilustración 8: Variación de la velocidad a partir de su sección y profundidad del cauce; fuente: Hidráulica de tuberías y canales, Rocha*

En cada medición de velocidad se utilizó 12 botellas llenadas de agua, cada una a 1/3 de su capacidad y distribuidas de la siguiente forma:

- 4 botellas en el margen izquierdo del río
- 4 botellas en la parte central del río
- 4 botellas en el margen derecho del río

De esta manera se obtuvo velocidades promedio para las tres secciones del ancho del río.



*Ilustración 9: Sección del río divididas entre margen derecho, centro y margen izquierdo; la flecha indica el sentido del flujo del río*

### 3.2.1.2. AREA

El lugar donde se realiza la medición de caudal, se denomina como sección transversal del curso de agua. (Agricultura, 2005). Cuando no se dispone de equipos especiales para medir caudales, es necesario conseguir su sección y de esta manera determinar el área transversal.

El río Cuenca es la unión de 4 ríos y sus demás tributarios, por lo que maneja caudales muy elevados y en el punto de aforo de nuestro interés, el río presenta un ancho entre 30-45m lo cual no solo dificulta sino imposibilita el realizar batimetrías sin correr un riesgo potencial.

El PROMAS, dispone datos obtenidos en trabajos anteriores, como: la sección transversal del río Cuenca en el puente de Ucubamba, un registro de caudales, y distancias desde la calzada del puente hacia la superficie del río; entonces se optó por realizar mediciones de estos parámetros, y correlacionarlas al registro generado por el PROMAS.

De esta forma se podría decir que estas medidas previamente obtenidas por el PROMAS se asemejarían a la lectura de una regleta en el puente. Por lo tanto, para la determinación de la sección transversal del curso de agua se realizó mediciones de distancias entre la calzada del puente y la superficie del río.

### 3.2.2. MUESTREO DE CALIDAD AGUA

En el presente trabajo, se planificó un programa de monitoreo para establecer la calidad del agua en dos estaciones representativas de la zona de estudio: antes de la descarga del efluente, y después de la descarga.

Para el muestreo de calidad fueron necesarios los equipos que se mencionarán a continuación, los mismos que estuvieron disponibles en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

#### 3.2.2.1. OXÍMETRO

Los oxímetros también conocidos como “Dissolved Oxygen Meters” son usados para medir la cantidad de oxígeno disuelto en un líquido (GlobalSpec, 2017), nuestro caso en el Río Cuenca. El equipo disponible en el Laboratorio de Sanitaria es un Oxímetro YSI model 55, el mismo que debe ser calibrado in situ, y tomando en consideración la altura del lugar. El equipo mide el oxígeno disuelto, la salinidad del agua y la temperatura; las lecturas de oxígeno disuelto son automáticamente compensadas con la temperatura. (YSI, 2017)



*Ilustración 10: Oxímetro YSI model 55*





### 3.2.2.2. FRASCO WINKLER

Se trata de un frasco hecho de vidrio de soda que se usa para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días ( $DBO_5$ ). Cada frasco se ajusta con un tapón esmerilado de vidrio macizo con corte inclinado.



*Ilustración 11: Frasco Winkler*

### 3.2.2.3. Sonda MULTIPARÁMETROS

Dado que el efluente de la PTAR presentaba un color verde pronunciado, lo que indicaba un alto contenido algas, así como de nitrógeno y fosforo. Por esta razón fue importante conocer la concentración de clorofila presente en el río antes y después de la descarga del efluente tratado. Para esto fue necesario el uso de la Sonda Multiparamétrica EX02 que puede medir temperatura/conductividad, pH, oxígeno disuelto, clorofila y turbiedad. (EXO, 2017)



*Ilustración 12: Sonda Multiparamétrica EXO2*

#### **3.2.2.4. FRASCOS**

Para analizar la calidad físico-química del agua se necesitan frascos de vidrio para laboratorio, los cuales son ideales para almacenamiento, mezclado y muestreo. Estos frascos tienen una boca grande para un fácil vertido, rosca norma DIN GL45 y tapón roscado de polipropileno de cierre fuerte para evitar derrames. (Expo, 2017)



*Ilustración 13: Frasco de vidrio para laboratorio*

### **3.3. CAMPAÑAS DE MONITOREO**

Localizar un sitio donde se haya realizado una mezcla completa y que sea representativa del agua, depende del sitio estudiado y su morfología.



### **3.3.1. TIPO DE MUESTRA**

Las muestras se definen como integradas-compuestas, estas muestras se forman por la mezcla de muestras puntuales tomadas en puntos diferentes a lo largo de una sección definida; esto se realiza debido a que existe una diferencia por la variabilidad del ancho y profundidad del río. Se toman muestras de igual volumen en diferentes puntos simultáneos en todo el ancho de la sección elegida, esto es lo más común debido a la variación del ancho y profundidad.

### **3.3.2. FRECUENCIA**

Con el propósito de obtener resultados representativos de la zona de estudio, se realizaron 10 monitoreos en el Río Cuenca, y en las dos estaciones del año, tanto en verano como en invierno; se realizaron 2 muestreos en invierno, en los meses de marzo y mayo; y en verano que es el estado más crítico del río, se realizaron 8 muestreos, uno cada 15 días y por las mañanas.

### **3.3.3. RECOLECCION DATOS INSITU**

Los datos in situ fueron recolectados manualmente, debido al difícil acceso para las estaciones asignadas. Para los análisis físicos, químicos se tomaron muestras de 6 litros en cada estación. Estos 6 litros provienen de la muestra compuesta-integrada explicada anteriormente. Las muestras de agua para llevar a cabo los bioensayos, en especial para la determinación de nutrientes para plantas, se tomaron durante el período de sequía donde se presenta la condición más crítica del río. Por ejemplo, durante el verano se presenta el máximo crecimiento algal.

## **3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Como se vio en el capítulo 2.7 la normativa TULSMA establece límites para ciertos parámetros que el agua del río Cuenca en todo su trayecto debería cumplir. En nuestra zona de estudio estos parámetros fueron ensayados a partir de muestras de agua obtenidas en las 10 campañas de monitoreo desde el mes de marzo hasta el mes de diciembre de 2017.

### **3.4.1 PARÁMETROS ANALIZADOS**

Dentro de los parámetros que establece la normativa de referencia, los listados en la Tabla 16, son aquellos que el Laboratorio de Sanitaria puede determinar. Estos parámetros son suficientes como para establecer su cumplimiento o no frente a la normativa TULSMA, por su importancia como factor de afectación en la calidad del agua.

*Tabla 15: Parámetros físicos determinados en laboratorio*

Parámetro	Unidad
Temperatura	°C.
Oxígeno disuelto	mg/l
Clorofila	ug/l
Turbiedad	NTU, FTU
Color aparente	UC, Pt Co
Color real	UC, Pt Co
Conductividad	microsiemens/ cm

*Tabla 16: Parámetros químicos determinados en laboratorio*

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
pH	-	Sulfatos	mg/l
Alcalinidad total	mg/l, CaCO <sub>3</sub>	Sulfuros	mg/l
Dureza total	mg/l, CaCO <sub>3</sub>	N. amoniacal	mg/l
Ca <sup>++</sup>	mg/l	N. nitritos	ug/l
Mg <sup>++</sup>	mg/l	N. nitratos	mg/l
Aluminio	mg/l	Cianuro	mg/l
Hierro total	mg/l	Cromo	mg/l
Manganeso	mg/l	Zinc	mg/l
Silicio	mg/l	Níquel	mg/l
Taninos y ligninas	mg/l	Arsénico	mg/l
Cobre	mg/l	Sólidos totales	mg/l
Fluoruros	mg/l	sólidos Suspendidos totales	mg/l
Fósforo reactivo	mg/l	Sólidos disueltos totales	mg/l
Fósforo total	mg/l	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l
Cloruros	mg/l	Demanda química de oxígeno	mg/l



Tabla 17: Parámetros microbiológicos determinados en laboratorio

Parámetro	Unidad
Coliformes totales	NMP/100ml
E. Coli	NMP/100ML

### 3.5. DETERMINACIÓN DEL ICA

El índice de calidad utilizado para resumir los resultados de varios parámetros, es el ICA desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, este índice está basado en los siguientes 18 parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Oxígeno Disuelto
- Coliformes Fecales
- Coliformes Totales
- Potencial de Hidrógeno
- Dureza Total
- Sólidos Disueltos
- Sólidos Suspendidos
- Cloruros
- Conductividad Eléctrica
- Alcalinidad
- Grasas y Aceites
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno Amoniacal
- Fosfatos Totales
- SAAM
- Color
- Turbiedad

La fórmula utilizada para el cálculo del índice de calidad es la siguiente:

$$ICA = \frac{\sum I_i W_i}{\sum W_i} \quad Ec(6)$$

Dónde:

ICA: Índice de Calidad Global del agua

I<sub>i</sub>: Índice de calidad para el parámetro i



$W_i$ ; Coeficiente de ponderación del parámetro  $i$

Para la aplicación de este método no se consideró Grasas y aceites ni SAAM, por lo que el peso dado a estos parámetros es nulo y la sumatoria utilizada en la fórmula es de 31,5.

Los coeficientes de ponderación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18: Coeficientes de ponderación utilizados en la Metodología ICA

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
pH	1,00	Nitrógeno de Nitratos	2,0
Color	1,00	Nitrógeno Amoniacal	2,0
Turbiedad	0,50	Fosfatos Totales	2,0
Grasas y Aceites	2,00	Cloruros	0,5
Sólidos Suspendedos	1,00	Oxígeno Disuelto	5,0
Sólidos Disueltos	0,50	DBO	5,0
Conductividad Eléctrica	2,00	Coliformes Totales	3,0
Alcalinidad	1,00	Coliformes Fecales	4,0
Dureza Total	1,00	SAAM	3,0

Para cada uno de estos 16 parámetros existen funciones de transformación, las mismas que pasan de unidades generales a unidades de calidad de agua, por ejemplo para la DBO es la siguiente:

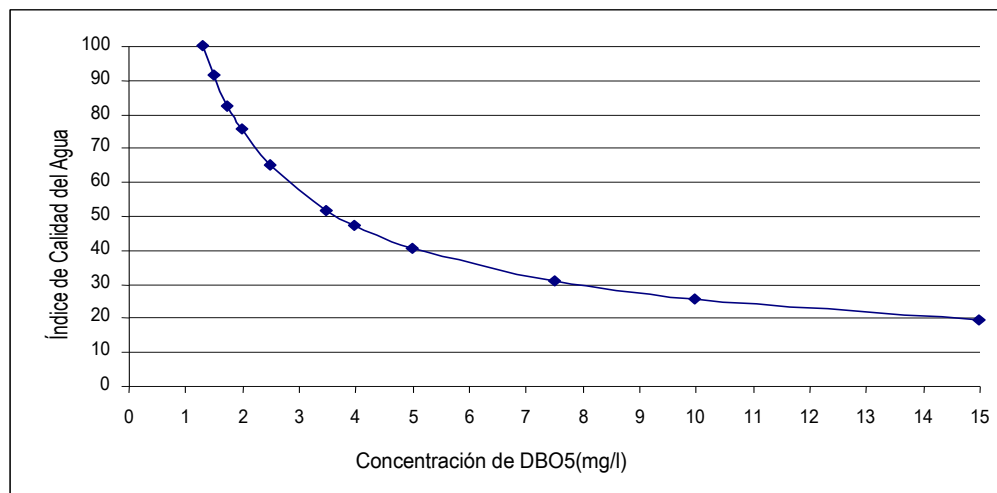


Ilustración 14: Función de transformación DBO5



Para cada función de transformación existe una fórmula específica, la misma que permite determinar un valor exacto de unidad de calidad de agua. En el Anexo A se presentan las funciones de transformación para los 15 parámetros analizados restantes.

El agua se clasifica según el valor del ICA mediante la siguiente tabla:

*Tabla 19: Clasificación calidad según el valor del ICA*

ICA	CRITERIO GENERAL
85-100	No Contaminado
70-84	Aceptable
50-69	Poco Contaminado
30-49	Contaminado
0-29	Altamente Contaminado

### **3.6. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EUTROFIZACIÓN A PARTIR DEL INDICE ITS**

#### **3.6.1. INDICADORES DE EUTROFIZACIÓN**

En el capítulo 2.5 se explicó todo lo relacionado al estado trófico o estado de alimentación dentro de un cuerpo de agua. Se sabe que la eutrofización se debe al aumento del aporte de fósforo y nitrógeno y que se manifiesta en la excesiva acumulación de micro algas y plantas superficiales. (Mazzeo, Clemente, García, Gorga, & Kruk). Por esta razón se escogió la clorofila a, como indicador de eutrofización:

#### **CLOROFILA**

La clorofila es el pigmento que caracteriza a los organismos autótrofos, es decir a aquellos que tienen la posibilidad de sintetizar materia orgánica a partir de insumos inorgánicos, a través del



proceso metabólico de la fotosíntesis; en este proceso las células absorben la energía de la luz solar, absorción que sólo es posible por medio de la clorofila; en el proceso la energía absorbida es transformada en compuestos orgánicos y oxígeno. (COFES)

La clorofila, por tanto, es un indicador de la presencia de organismos fotosintéticos como las algas, y su magnitud, determina los diferentes niveles tróficos de un cuerpo acuático.

*Tabla 20: Fórmulas para estimar el estado trófico ITS a partir de la Clorofila a*

Parámetros de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki et al (1981)
Clorofila a (Clorf a) (mg/m <sup>3</sup> )	$TSI_{Clorfa} = 9,81Ln(Clorf a) + 30,6$	$TSI_{Clorfa} = 10x(2,46 + \frac{Ln(Clorf a)}{Ln2,5})$

Por esta razón usando la fórmula de Carlson (Ver Tabla 20) se determinó el índice ITS para cada monitoreo y finalmente se usó la siguiente caracterización para el estado trófico:

*Tabla 21: Nivel de significancia para el estado trófico; autoría de los estudiantes*

Valor ITS	Significancia
70-100	Oligotrófico
40-70	Mesotrófico
10-40	Eutrófico
0-10	Hipereutrófico





### 3.7. IMPACTO AMBIENTAL

#### 3.7.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO O ENTORNO AFECTADO

El factor afectado por la ejecución de este proyecto (Planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba PTAR), es un río, es decir el factor ambiental “agua”.

El agua es uno de los recursos más valiosos del medio, está relacionado con la mayoría de los factores ambientales y condiciona, al menos, la existencia de los componentes bióticos. En su estudio caben dos aproximaciones ambas importantes: el agua como recurso y el agua como ecosistema. En este último caso el agua es el medio donde se desarrolla la vida de comunidades vegetales y animales que allí pueden establecerse (Real, 2015).

El agua ha de inventariarse en las diferentes situaciones en las que se encuentra:

- Aguas continentales: superficiales y subterráneas
- Medio marino

Para las aguas superficiales conviene conocer la forma en que se presenta (cursos de agua, fuentes, manantiales, lagos, lagunas, embalses, y zonas pantanosas), la temporalidad (cauces permanentes, estacionales, esporádicos, entre otros), la distancia al lugar de estudio, y sobre todo su capacidad de autodepuración.

Los principales factores que pueden verse afectados son:

- La calidad, función de numerosos parámetros de medida. En algunas ciudades se vigila la calidad de los cuerpos receptores en función de índices de calidad del agua.
- La cantidad, pues de traer agua de un curso, lago, acuífero, etc. afecta indirectamente a la vegetación y fauna aguas abajo, a la disponibilidad del recurso, a la economía de la zona, a las posibilidades de explotación agraria, etc.
- La distribución, al tratarse de agua de un río o punto de agua a otro, introduce modificaciones en ambos lados, que en conjunto pueden ser positivos o negativos.
- Los procesos, tal como inundación, salinización, eutrofización, etc.

Los subfactores más comunes como objeto de inventario se resumen así:

- Cantidad del recurso



- Régimen hídrico
- Temperatura
- Distribución
- Calidad físico-química
- Calidad biológica
- Áreas de recarga.

Entonces el agua puede verse afectada en estos aspectos; no obstante, al ser parte del medio ambiente inerte, su modificación puede tener repercusión en los procesos del medio inerte, a saber:

- Dinámica de cauces
- Drenaje superficial
- Inundaciones
- Erosión
- Deposición: sedimentación y precipitación
- Transporte de sólidos
- Eutrofización

En el presente estudio, la propiedad del agua afectada y que se considera para la evaluación del impacto ambiental en el río, es su calidad físico-química y microbiológica.

### **3.7.2. LINEA BASE AMBIENTAL**

Para definir la línea base ambiental se detallará 5 componentes del medio físico correspondiente a la zona donde está ubicada la PTAR de Ucubamba. (ETAPA E. , ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL EX POST PTAR UCUBAMBA, 2016)

#### **3.7.2.1. MEDIO FISICO**

##### **PRECIPITACION**

Aledaña a la PTAR e Ucubamba se encuentra la estación M0426 correspondiente a Cuenca-Ricaurte ubicada a 2545 m.s.n.m. de tipo pluviométrica con Latitud -2.8508 y Longitud -78.9486 En el anuario meteorológico (INAMHI, 2015) se obtuvo los siguientes datos de precipitaciones para la estación M0426:

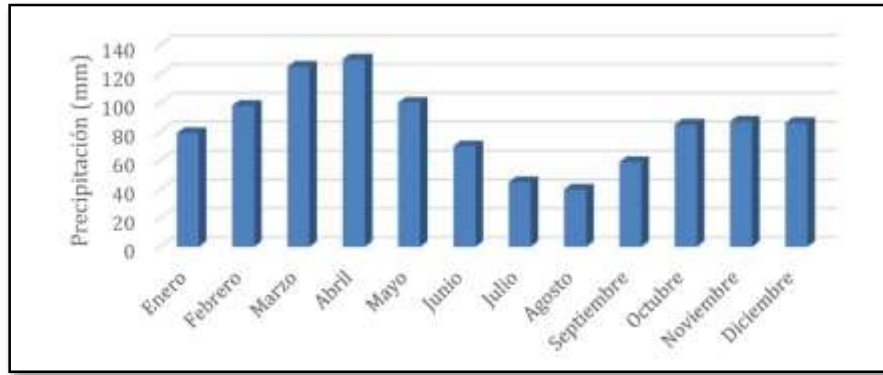


Ilustración 15: Precipitación proveniente de la estación M0426 año 2009; fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA

## USOS

Según la información proporcionada por la Subsecretaria de la Demarcación Hidrográfica de Santiago, las autorizaciones del uso del agua para la zona de la PTAR son los siguientes:

Tabla 22: Usos del agua antes y después de la descarga del efluente de la PTAR Ucubamba; Fuente: SDHS

Uso	Caudal [lt/sg]	Coordenada Este	Coordenada Norte	Ubicación respecto PTAR
Doméstico	0,07	728648	9681400	Antes
Doméstico	0,15	728426	9681210	Antes
Riego	0,101	728039	9681033	Antes
Doméstico	0,01	728039	9681033	Antes
Doméstico	0,04	729751	9682430	Antes
Riego	31,4	729948,9	9683152	Después
Riego	0,09	735530	9680185	Después
Riego	6,6	732550	9685380	Después
Riego	0,13	731833,7	9683394	Después
Industrial	12	735387	9686174	Después

Tabla 23: Porcentaje de caudal adjudicado para distintos usos

Uso	Caudal [l/sg]	%
-----	---------------	---



Riego	38,321	75,75
Doméstico	0,27	0,53
Industrial	12	23,72

## CALIDAD DEL AGUA

En (ETAPA E. , ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL EX POST PTAR UCUBAMBA, 2016) se realizó la toma de dos muestras de agua del Río Cuenca para su análisis, el primer muestreo bajo el puente de Ucubamba y el segundo a 50 metros después de la descarga del efluente de la PTAR. Los resultados se muestran a continuación:

*Tabla 24: Resultados de las análisis del Río Cuenca en el año 2009; Fuente: EsIA expost PTAR Ucubamba, ETAPA*

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
pH	-	7,3	7,4
Conductividad	µs/cm	108	231
Oxígeno Disuelto	mg/l	8,9	8,6
Oxígeno Saturación	%	>100	>100
Color Aparente	PtCo	47	63
Sólidos Totales	-	94	155
Turbidez	NTU	9	9
Nitratos	mg/l	0,84	0,83
Nitritos	mg/l	0,12	0,12
DBO5	mg/l	<2	9
Coliformes Fecales	NMP/100ml	4600	230
Coliformes Totales	NMP/100ml	24000	230
Fósforo	mg/l	<0,1	0,62

### 3.7.3. ELABORACION MATRIZ DISTRIBUTIVA DE LEOPOLD

La determinación de un Impacto Ambiental generalmente se realiza mediante el uso de matrices distributivas (Gomez, 2003); la matriz de Leopold existe desde 1971 y su concepto sigue en uso, dado a su practicidad y fácil interpretación (Leopold, 1971). Se trata de una matriz de doble entrada: causa y efecto; en una entrada se enlistan todas las acciones del proyecto capaces de producir impacto, y en la otra todos los factores ambientales susceptibles de ser impactados; la



matriz es un buen modelo para identificar impactos ya que proporciona más información que las listas de revisión o diagramas de redes. (Cruz, Gallego, & Gonzales, 2009)

Para utilizar la matriz de Leopold se recomienda el siguiente esquema:

- a) Identificar el impacto: mediante el cruce entre las acciones del proyecto y los factores del medio afectado; la acción del proyecto es el efluente de la PTAR, y el factor afectado es la calidad del agua.
- b) Cuantificación del impacto: determinando la magnitud y la incidencia. (Ver capítulo 2.6.4); el factor afectado en este caso es el agua, y la afección es en su calidad física, calidad química y calidad microbiológica. Para determinar la magnitud es necesario identificar indicadores a través de los cuales pueda expresarse el cambio, es decir la variación de la calidad del agua antes del proyecto y después de él; los indicadores están vinculados a la calidad ambiental, a través de las denominadas funciones de transformación, las cuales convierten las unidades propias del indicador (unidades inconmesurables) en unidades de calidad ambiental (unidades conmesurables). Para el cálculo de la incidencia se utiliza los atributos listados en el capítulo 2.6.4
- c) Finalmente, para obtener el valor total del impacto, es necesario asignar un peso relativo a cada cualidad del agua, de un total de 1000 unidades ambientales que se adjudica a todo el recurso en la zona de estudio. (Barranates, 2007)

Los indicadores (factores) seleccionados para la construcción de la matriz fueron los mismos que se utilizaron para determinar el índice ICA, es decir 16 factores que fueron divididos en tres grupos: Físicos, Químicos y Microbiológicos. Se estableció el impacto de todos los parámetros de los tres grupos, utilizando las correspondientes funciones de transformación que convierten las unidades específicas del parámetro, en unidades de calidad ambiental; luego se determinó la incidencia de cada impacto, es decir los atributos de orden cualitativo que acompañan a la alteración; los valores establecidos para los atributos (incidencia) para cada impacto se muestran en la Tabla 30; finalmente se determinó el Impacto Ambiental mediante la Ec (2), así como el signo, utilizando la siguiente tabla de caracterización:

*Tabla 25: Nivel de significancia del impacto analizado mediante la matriz de Leopold; autoría de los estudiantes*

Valor Impacto	Significancia
+	Positivo
0-250	Compatible
250-500	Moderado
500-750	Severo
750-100	Critico

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

### 4.1. CAMPAÑAS DE MONITOREO Y VARIABLES HIDRÁULICAS

Uno de los objetivos de este estudio es realizar campañas de monitoreo del río, en un período climatológico representativo. La Tabla 26 muestra los resultados de velocidad y caudal, en 2 campañas realizadas en invierno y en 8 campañas en verano

*Tabla 26: Caudales y velocidades registrados en las campañas de monitoreo realizadas en período de invierno y verano*

Monitoreo	Fecha	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Velocidad [m/s]	Período
1	16-mar-17	64,76	2,11	Invierno
2	04-may-17	50,03	1,93	
3	14-sep-17	7,88	1,00	Verano
4	27-sep-17	10,34	1,31	
5	12-oct-17	24,80	1,59	
6	26-oct-17	22,49	1,89	
7	08-nov-17	11,70	1,18	
8	23-nov-17	7,03	0,94	
9	06-dic-17	7,18	0,96	
10	13-dic-17	6,25	0,99	



## 4.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA APLICANDO EL INDICE ICA

El ICA evalúa parámetros correspondientes a la calidad del agua, para los 16 parámetros medidos durante las 10 campañas de monitoreo tanto antes como después del efluente; se determinaron los índices de calidad respectivos y se calculó el ICA general en cada monitoreo. (Ver Tabla 27).

*Tabla 27 Valores ICA general para cada monitoreo:*

ESTACION	16-mar-17	4-may-17	14-sep-17	27-sep-17	12-oct-17	26-oct-17	8-nov-17	23-nov-17	6-dic-17	13-dic-17
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9	Monit 10
Antes	54,39	54,16	49,82	51,77	49,79	52,04	53,16	45,91	49,39	47,77
Después	54,38	51,90	47,41	47,04	47,19	47,69	48,27	43,72	45,13	43,67

La clasificación dispuesta por el ICA (Ver Tabla 19) asigna un grado de contaminación de agua dependiendo del valor obtenido; se exponen los resultados en la Tabla 28.

*Tabla 28: Grado de contaminación correspondiente al ICA para cada monitoreo*

ESTACIÓN	16-mar-17	4-may-17	14-sep-17	27-sep-17	12-oct-17	26-oct-17	8-nov-17	23-nov-17	6-dic-17	13-dic-17
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9	Monit 10
Antes	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado
Después	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado

La tabla 29, muestra los valores del ICA promedio, luego de clasificar los monitoreos por períodos climatológicos; se observa una pérdida de calidad causada por la descarga del efluente de la PTAR, en ambos períodos, siendo mayor el descenso en período de verano, lo que además cambia la calidad del río a “contaminado”.

*Tabla 29: ICA general del Río por período climatológico y magnitud impacto generado*

ESTACIÓN	IC	PROMEDIO	
		Verano	Invierno
Antes	ICA	50,0	54,3
	Estado	Poco contaminado	Poco contaminado



Después	ICA	46,3	53,1
	Estado	Contaminado	Poco contaminado
Pérdida unidades ICA		-3,69	-1,14

En el Gráfico 1 se muestra la variabilidad del ICA con respecto a los monitoreos; la diferencia entre el “antes” y el “después” se puede catalogar como impacto (Ver Gráfico 2).

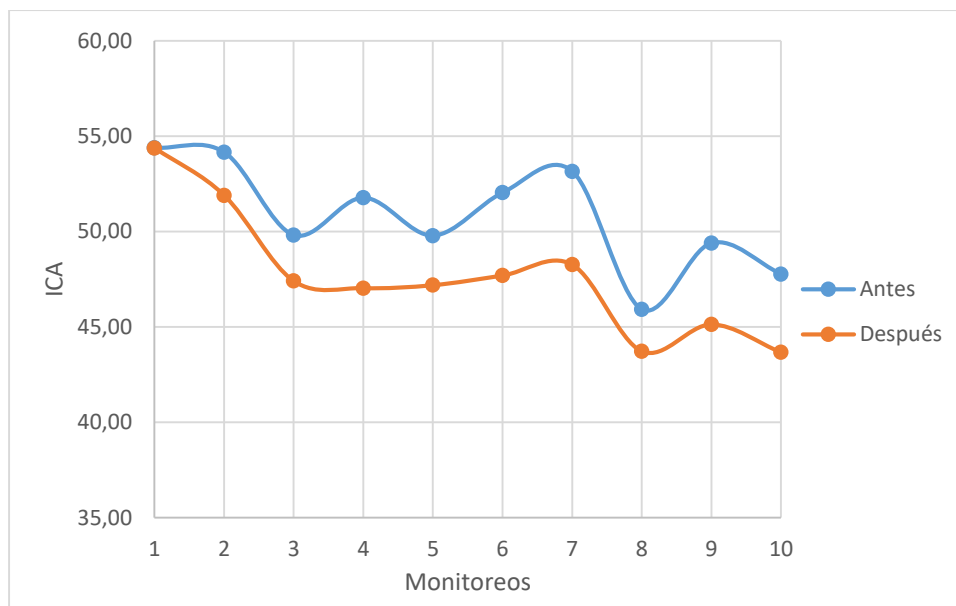


Gráfico 1: Variabilidad del ICA respecto a los monitoreos



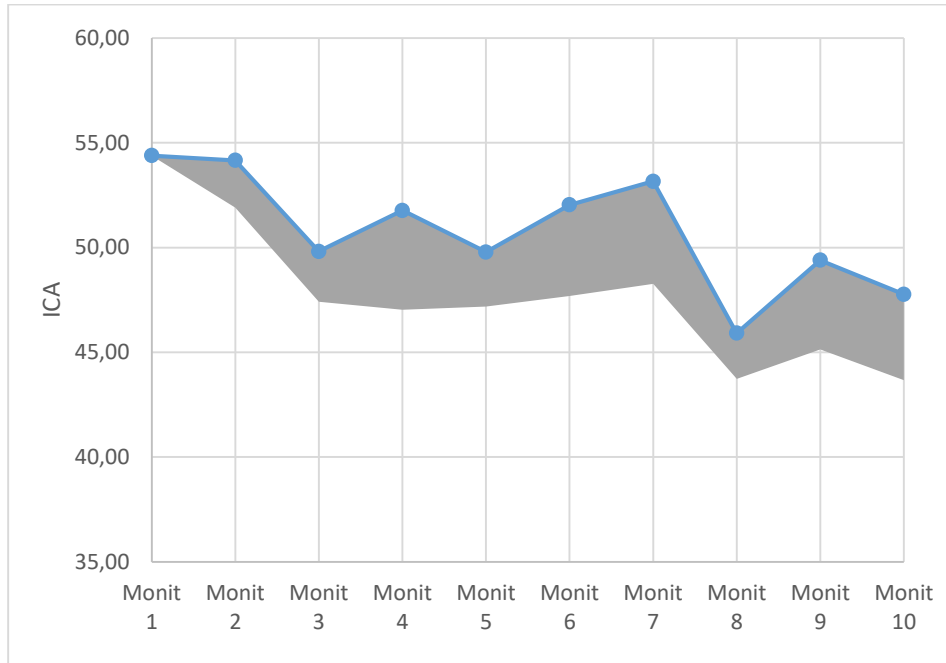


Gráfico 2: Variación del ICA antes y después del efluente; el área en color gris se puede catalogar como impacto

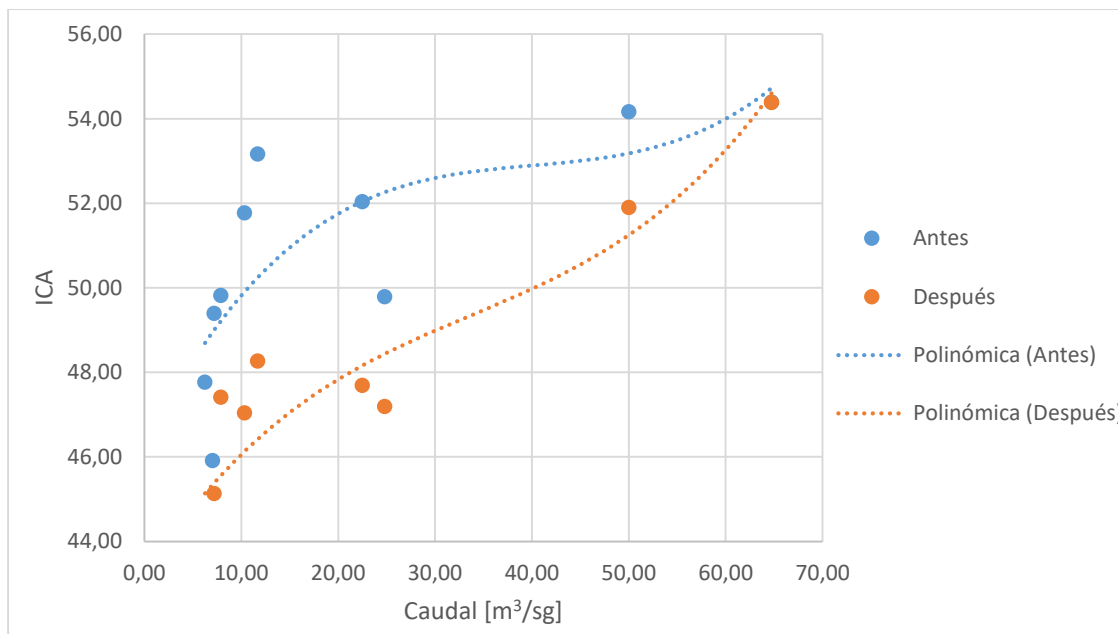


Gráfico 3: Variabilidad ICA respecto a los caudales registrados



### 4.3. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL APLICANDO MATRIZ DISTRIBUTIVA DE LEOPOLD

Como se mencionó en el Capítulo 3.7.3 se construyó una matriz distributiva de indicadores representativos de calidad física, química y biológica del agua utilizando las funciones de transformación de la metodología ICA.

Con los datos de los 16 indicadores se obtuvo los valores de calidad respectivamente transformados en unidades ambientales; su diferencia entre el antes y después designa el signo y la magnitud del Impacto, así como su valor una vez multiplicado por la Importancia del indicador analizado. La incidencia se calculó para cada factor y sus atributos se indican en la Tabla 30, finalmente la matriz y su Impacto se muestra en la Tabla 31.

*Tabla 30: Valores designados de atributos para cada factor evaluado y valor final de la Incidencia.*

ACCIÓN	Factores	Inmediatez	Acumulación	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Continuidad	Incidencia
		1-2	1-2	1-3	1-3	1-3	1-2	
Vertido del Efluente de la PTAR de Ucubamba	Turbiedad	2	2	3	3	1	2	0,78
	Color	2	1	3	3	1	2	0,67
	pH	2	2	3	3	1	2	0,78
	Solidos suspendidos	2	2	3	3	3	2	1,00
	Solidos disueltos	2	1	3	3	3	2	0,89
	Conductividad	2	2	3	3	3	2	1,00
	Dureza	2	1	3	3	3	2	0,89
	Alcalinidad	2	1	3	3	3	2	0,89
	N. Nitratos	2	2	3	3	3	2	1,00
	N. Amoniacal	2	2	3	3	3	2	1,00
	Fosfatos totales	2	2	3	1	3	2	0,78
	Cloruros	2	1	3	3	3	2	0,89
	Oxígeno Disuelto	2	2	3	3	1	2	0,78
	DBO	2	2	3	3	1	2	0,78



Coliformes	2	2	3	3	1	2	0,78
E. Coli	2	2	3	3	1	2	0,78

Tabla 31: Matriz distributiva de Leopold de indicadores representativos de calidad física, química y microbiológica del Río Cuenca en la zona de estudio

ACCIÓN	Factores	Importancia	Incidencia	Calidad Física		Calidad Química		Calidad Microbiológica		Diferencia Magnitud	Impacto
				Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
Vertido del Efluente de la PTAR de Ucubamba	Turbiedad	150	0,78	0,547	0,553					0,006	0,686
	Color	250	0,67	0,267	0,266					-0,001	-0,183
	pH	35	0,78			0,975	1,000			0,025	0,693
	Solidos suspendidos	15	1,00			0,469	0,456			-0,013	-0,200
	Solidos disueltos	15	0,89			1,000	1,000			0,000	0,000
	Conductividad	16	1,00			0,765	0,658			-0,107	-1,714
	Dureza	12	0,89			0,733	0,706			-0,026	-0,281
	Alcalinidad	15	0,89			0,479	0,455			-0,024	-0,323
	N. Nitratos	30	1,00			1,000	1,000			0,000	0,000
	N. Amoniacal	30	1,00			0,568	0,345			-0,223	-6,690
	Fosfatos totales	30	0,78			0,219	0,246			0,027	0,635
	Cloruros	12	0,89			0,739	0,647			-0,092	-0,981
	Oxígeno Disuelto	50	0,78			0,961	0,946			-0,015	-0,592
	DBO	40	0,78			0,255	0,198			-0,057	-1,783
	Coliformes	100	0,78					0,013	0,019	0,007	0,524
E. Coli	200	0,78					0,010	0,016	0,006	1,009	

Tabla 32: Impacto Ambiental sobre el Río Cuenca producido por el efluente de la PTAR de Ucubamba, aplicando una matriz distributiva de indicadores representativos de calidad física, química y biológica

Impacto	Valor	Significancia
Positivo	3,547	Positivo



Negativo -12,749 **Compatible**

#### 4.4. DETERMINACION NIVEL DE EUTROFIZACIÓN APLICANDO EL INDICE ITS

Según (Moreno, Quintero, & Lopez, 2010) los principales indicadores de eutrofización son: fósforo, nitrógeno, clorofila y turbiedad. Debido a que el fósforo, nitrógeno y la turbiedad se evaluaron dentro de la matriz de distribución de Leopold, estos valores no se utilizaron para determinar el nivel de Eutrofización. La Clorofila al ser un indicador clave del nivel de eutrofización se escogió como único indicador aplicable al índice ITS mencionado en el capítulo 3.6.1

A partir del segundo monitoreo se dispone de datos de clorofila dado que en el primer monitoreo no fue posible esta medición.

*Tabla 33: Variación del Índice del Estado Trófico respecto a los monitoreos*

Fecha:	4-may-17	14-sep-17	27-sep-17	12-oct-17	26-oct-17	8-nov-17	23-nov-17	6-dic-17	13-dic-17
Monitoreo:	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9	Monit 10
Antes	71,11	67,94	66,31	68,2	69,5	76,4	57,66	58,27	68,83
Después	35,87	29,51	30,67	49,26	43	30,86	33,63	31,82	31,34

Para evaluar la clorofila se utilizó el ITS (Índice del Estado Trófico) mediante la fórmula de Carlson (1977; 1980), el cual evalúa la calidad del agua de 0 a 100 de igual manera que las funciones de transformación del ICA, siendo 100 estado oligotrófico (excelente calidad ambiental) y 0 estado hipereutrófico (completamente contaminada), como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 34: Estado trófico del río antes y después de la descarga del efluente de la PTAR de Ucubamba

Fecha:	04-may-17	14-sep-17	27-sep-17	12-oct-17	26-oct-17	08-nov-17	23-nov-17	06-dic-17	13-dic-17
Monitoreo:	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9	Monit 10
Antes	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Después	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

De la misma manera como se analizó el ICA, se examina la variabilidad del ITS a lo largo del período, de mayo a diciembre en los que se realizaron los monitoreos. Como se puede observar el ITS antes de la descarga se caracteriza como Mesotrófico y después, se cataloga como Eutrófico.

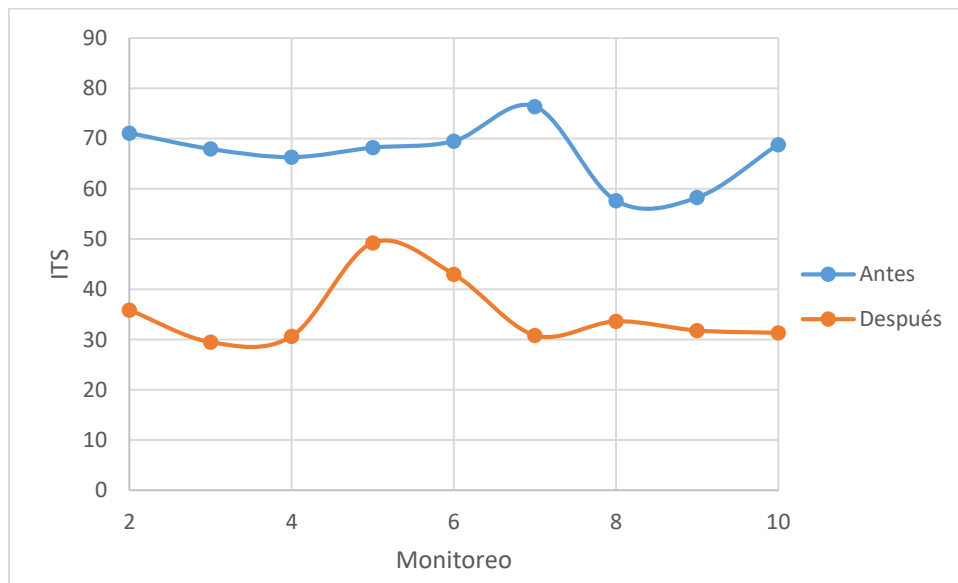


Gráfico 4: Variabilidad del ITS respecto a los monitoreos

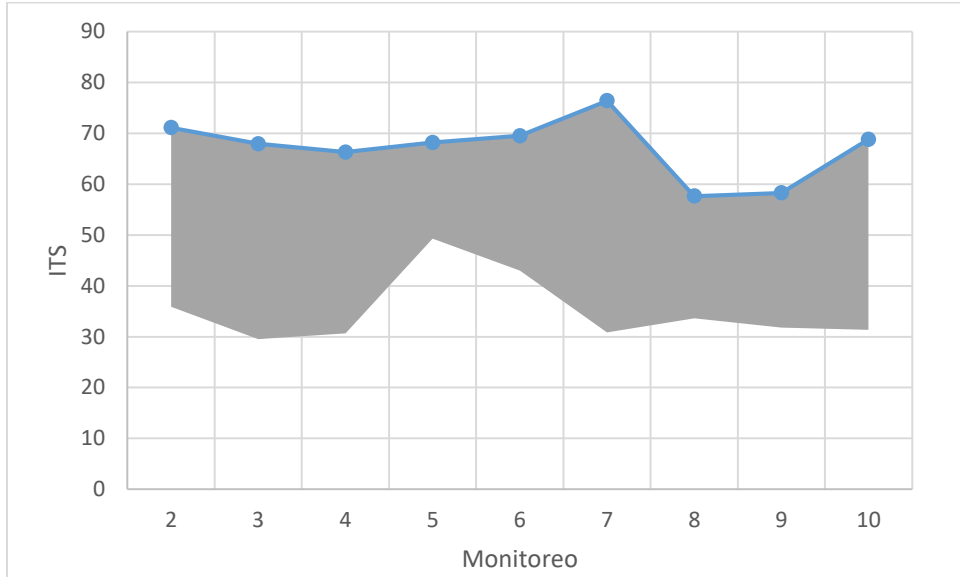


Gráfico 5: Variación del ITS antes y después del efluente; el área en color gris se puede catalogar como impacto

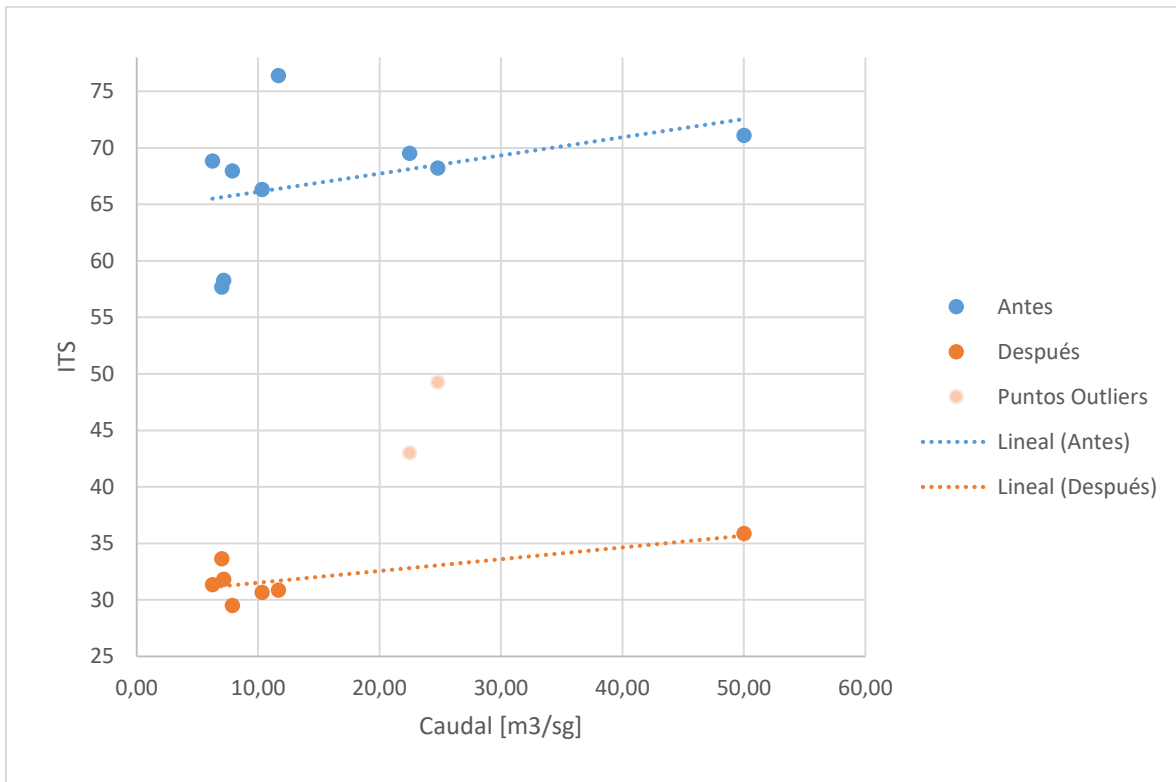


Gráfico 6: Variabilidad ITS respecto a los caudales registrados



#### 4.5. ANÁLISIS CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA

Los resultados de cada campaña de monitoreo se muestran en el Anexo B. Se realizó un promedio de todos los parámetros analizados en laboratorio correspondientes a los 10 monitoreos; esto antes de la descarga del efluente y después del mismo (Ver Tabla 35, 36 y 37).

*Tabla 35: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros físicos*

Parámetro	Unidad	Prom. Antes	Prom. Después
Hora	am	-	-
Temperatura	°C.	13,82	14,77
Oxígeno disuelto	mg/l	7,76	7,49
Clorofila	ug/l	1,50	38,54
Turbiedad	NTU, FTU	52,35	52,84
Color aparente	UC, Pt Co	211,80	234,70
Color real	UC, Pt Co	52,70	49,00
Conductividad	microsiemens/cm	160,35	232,50

*Tabla 36: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros químicos*

Parámetro	Unidad	Prom. Antes	Prom. Después	Parámetro	Unidad	Prom. Antes	Prom. Después
pH		7,61	7,54	N. Nitritos	ug/l	56,80	71,71
Alcalinidad total	mg/l	62,84	81,52	N. Nitratos	mg/l	0,35	0,38
Dureza	mg/l	60,42	68,58	Cianuro	mg/l	0,00	0,01
Ca <sup>++</sup>	mg/l	17,74	19,73	CROMO	mg/l	0,03	0,03
Mg <sup>++</sup>	mg/l	3,91	4,68	Zinc	mg/l	0,19	0,20
Aluminio	mg/l	0,03	0,03	Níquel	mg/l	0,15	0,15
Hierro total	mg/l	0,05	0,06	Arsénico	ug/l	3,00	0,30
Manganeso	mg/l	0,13	0,15	Sólidos Totales	mg/l	238,50	278,20
Silicio	mg/l	0,90	1,15	S.T. Fijos	mg/l	170,20	192,80
Taninos y ligninos	mg/l	1,31	1,47	S.T. Volátiles	mg/l	68,30	85,40
				S.			
Cobre	mg/l	0,05	0,02	Suspendidos totales	mg/l	112,80	122,80
Fluoruros	mg/l	0,74	0,78	S.S. Fijos	mg/l	92,60	96,00
Fosforo reactivo	mg/l	0,12	0,29	S.S. Volátiles	mg/l	20,20	26,80
				Sólidos			
Fosforo total	mg/l	2,76	2,27	Disueltos	mg/l	125,70	155,40
				totales			
Cloruros	mg/l	9,11	15,03	S.D. Fijos	mg/l	77,60	96,80
Sulfatos	mg/l	5,94	8,68	S.D. Volátiles	mg/l	48,10	58,60
Sulfuros	mg/l	0,00	0,00	DBO <sub>5</sub>	mg/l	8,84	12,38
N. Amoniacal	mg/l	0,48	2,00	DQO	mg/l	34,43	47,98



Tabla 37: Promedio de valores determinados en laboratorio antes y después del efluente de la PTAR Ucubamba; Parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad	Prom. Antes	Prom. Después
Coliformes Totales	NMP/100ml	8,16E+06	1,76E+06
E. Coli	NMP/100ML	3,98E+06	6,26E+05

La normativa de referencia como se explicó en el capítulo 2.7 dispone de límites para distintos parámetros de calidad para diferentes usos del agua, desde la Tabla 38 hasta la Tabla 43 se muestran los parámetros y valores que no cumple estos límites para sus diferentes usos.

Tabla 38: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de consumo humano o doméstico del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	Turbiedad		Color real		Fluoruros		Cromo		DBO		DQO		E. Coli	
	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps
1er	119	132,0	101	88,0	0,9	0,12	0,061	0,075	3,9	3,12			460000	1,80E+05
2do	40,4	53,5	22,0	23,0	0,60	0,60	0,083	0,048	4,79	4,51	34,63	38,48	1,40E+06	1,70E+05
3er	65,5	24,4	44,0	51,0	0,88	0,84	0,026	0,060	7,80	8,20	19,52	23,43	3,30E+05	1,30E+05
4to	19,8	45,9	51,0	12,0	0,80	0,84	0,076	0,060	8,66	10,25	27,55	35,42	6,10E+04	3,50E+05
5to	44,2	35,7	42,0	41,0	0,80	1,24	0,011	0,019	7,84	8,45	39,84	51,80	3,20E+06	1,70E+06
6to	39,5	44,2	48,0	46,0	0,60	0,88	0,012	0,017	8,14	9,08	42,94	58,56	2,10E+07	1,70E+06
7mo	21,0	41,3	45,0	49,0	0,48	0,56	0,014	0,011	5,32	7,70	39,04	54,65	1,40E+06	4,60E+04
8vo	101,0	96,6	68,0	60,0	0,40	0,52	0,014	0,010	18,45	27,35	35,42	51,16	1,70E+06	2,10E+04
9no	36,8	39,5	62,0	69,0	0,36	0,40	0,025	0,025	7,97	16,98	39,36	47,23	8,20E+05	2,60E+05
10mo	36,3	15,3	44,0	51,0	1,56	1,80	0,012	0,013	15,49	28,20	31,61	71,13	9,40E+06	1,70E+06
Límite: Consumo humano	100,00		75,00		1,50		0,050		2,00		4,00		1000,00	

Tabla 39: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de flora y fauna del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	Hierro total		Manganeso		Silicio		Cobre		Cianuro		Cromo		Zinc		Níquel		S.S. Totales		DBO		DQO	
	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps	Ans	Dps
1er	0,31	0,35	0,3	0,4	0,05	1,50	0,32	0,05	0,009	0,011	0,061	0,075	0,3	0,38	0,32	0,30	172	142	3,9	3,12		
2do	0,09	0,08	0,2	0,3	1,14	1,12	0,02	0,02	0,005	0,008	0,083	0,048	0,38	0,41	0,17	0,18	81	140	4,79	4,51	34,63	38,48
3er	0,08	0,07	0,1	0,1	1,21	1,26	0,01	0,00	0,005	0,004	0,026	0,060	0,17	0,36	0,11	0,10	201	70	7,80	8,20	19,52	23,43
4to	0,00	0,00	0,1	0,1	0,86	1,15	0,04	0,03	0,003	0,004	0,076	0,060	0,13	0,11	0,14	0,13	94	143	8,66	10,25	27,55	35,42
5to	0,00	0,00	0,1	0,1	1,08	1,14	0,03	0,02	0,006	0,004	0,011	0,019	0,13	0,10	0,14	0,13	52	124	7,84	8,45	39,84	51,80
6to	0,02	0,04	0,1	0,1	1,10	1,21	0,04	0,02	0,004	0,002	0,012	0,017	0,12	0,09	0,15	0,15	43	131	8,14	9,08	42,94	58,56
7mo	0,0	0,0	0,1	0,1	0,88	0,87	0,01	0,01	0,005	0,006	0,014	0,011	0,13	0,11	0,14	0,15	45	106	5,32	7,70	39,04	54,65





8vo	0,01	0,01	0,1	0,1	1,30	1,70	0,01	0,01	0,004	0,005	0,014	0,010	0,12	0,10	0,12	0,13	207	181	18,45	27,35	35,42	51,16
9no	0,01	0,01	0,1	0,1	0,69	0,77	0,02	0,0	0,004	0,004	0,025	0,025	0,15	0,17	0,14	0,14	126	114	7,97	16,98	39,36	47,23
10mo	0,0	0,0	0,1	0,1	0,67	0,78	0,02	0,01	0,002	0,004	0,012	0,013	0,24	0,21	0,11	0,12	107	77	15,49	28,20	31,61	71,13
Limite: Flora y Fauna	0,30		0,1		0,05		0,01		0,010		0,032		0,03		0,03		189,2		20,00		40,00	

Tabla 40: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso de agrícola del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	Manganeso		Silicio		Cobre		Níquel		E. Coli	
	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps	Ants	Dsps
1er	0,3	0,4	0,05	1,50	0,32	0,05	0,32	0,30	460000	1,80E+05
2do	0,2	0,3	1,14	1,12	0,02	0,02	0,17	0,18	1,40E+06	1,70E+05
3er	0,1	0,1	1,21	1,26	0,01	0,00	0,11	0,10	3,30E+05	1,30E+05
4to	0,1	0,1	0,86	1,15	0,04	0,03	0,14	0,13	6,10E+04	3,50E+05
5to	0,1	0,1	1,08	1,14	0,03	0,02	0,14	0,13	3,20E+06	1,70E+06
6to	0,1	0,1	1,10	1,21	0,04	0,02	0,15	0,15	2,10E+07	1,70E+06
7mo	0,1	0,1	0,88	0,87	0,01	0,01	0,14	0,15	1,40E+06	4,60E+04
8vo	0,1	0,1	1,30	1,70	0,01	0,01	0,12	0,13	1,70E+06	2,10E+04
9no	0,1	0,1	0,69	0,77	0,02	0,0	0,14	0,14	8,20E+05	2,60E+05
10mo	0,1	0,1	0,67	0,78	0,02	0,01	0,11	0,12	9,40E+06	1,70E+06
Limite: Agrícola	0,2		0,20		0,20		0,20		1000,00	

Tabla 41: Parámetro cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso pecuario del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	E. Coli	
	Ants	Dsps
1er	460000	1,80E+05
2do	1,40E+06	1,70E+05
3er	3,30E+05	1,30E+05
4to	6,10E+04	3,50E+05
5to	3,20E+06	1,70E+06
6to	2,10E+07	1,70E+06
7mo	1,40E+06	4,60E+04
8vo	1,70E+06	2,10E+04
9no	8,20E+05	2,60E+05
10mo	9,40E+06	1,70E+06
Limite: Pecuario	1000,00	



Tabla 42: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso recreativo del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	Coliformes Totales	
	Ants	Dsps
Monitoreo		
1er	460000	9,20E+05
2do	1,70E+06	4,90E+05
3er	1,70E+06	5,40E+05
4to	1,40E+05	7,00E+05
5to	1,20E+07	2,20E+06
6to	3,50E+07	2,10E+06
7mo	3,90E+06	2,10E+05
8vo	3,30E+06	1,70E+05
9no	1,40E+06	1,10E+06
10mo	2,20E+07	9,20E+06
Límite: Recreativo	4000,00	

En cuanto al uso estético, la normativa de referencia estableció criterios de calidad descritos en el capítulo 2.7.1, de los cuales no cumplen los siguientes:

- Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad antrópica.
- Turbiedad no mayor a 20 UTN.

Tabla 43: Parámetro cuyos valores no cumplen con la normativa de protección del uso estético del agua; Antes y después de la descarga del efluente

Parámetro:	Turbiedad	
	Ants	Dsps
Monitoreo		
1er	119	132,0
2do	40,4	53,5
3er	65,5	24,4
4to	19,8	45,9
5to	44,2	35,7
6to	39,5	44,2
7mo	21,0	41,3
8vo	101,0	96,6
9no	36,8	39,5
10mo	36,3	15,3
Límite: Estético	20,00	

*Tabla 44: Parámetros cuyos valores no cumplen con la normativa de descarga de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce*

Parámetro:	Temperatura	E. Coli
Monitoreo	Efluente	Efluente
10mo	20,88	9,20E+04
Límite: Descarga hacia cuerpo agua dulce	16,43	2000,00

#### 4.6. IMPACTO APLICANDO USOS AFECTADOS

En la Tabla 22 y 23 se muestran los usos otorgados para el río Cuenca en la zona de estudio aledaña a la PTAR de Ucubamba. Como se puede observar en la Tabla 45 antes de la descarga se tiene adjudicaciones de uso tanto social (doméstico) como agrícola (riego), mientras que después de la descarga se tiene usos agrícola e industrial.

*Tabla 45: Usos adjudicados antes y después de la descarga*

Uso	Caudal [lt/sg]	Ubicación respecto PTAR
Social	0,27	Antes
Agrícola	0,101	Antes
Agrícola	38,22	Después
Industrial	12	Después

Luego de revisar los resultados obtenidos en el capítulo 4.5, el río no se encuentra en condiciones para cumplir ningún uso adjudicado al mismo.

## CAPITULO 5: DISCUSIÓN

### 5.1. VARIABLES HIDRÁULICAS

Las variables hidráulicas determinadas fueron caudal y velocidad, las cuales fueron medidas de forma manual usando una metodología básica; para la velocidad se usó el método del flotador por no disponer de un equipo especial como un molinete; y para determinar el área de la sección y posteriormente el caudal, se midió la distancia existente entre la calzada del puente hasta la superficie del espejo de agua; se seleccionó esta metodología debido a que el río Cuenca posee



caudales muy altos y su batimetría en este lugar era muy riesgosa, debido al ancho y caudal del río. Los caudales medidos se muestran en el Grafico 7; se puede observar que para los meses de marzo a mayo correspondiente a la época de invierno, se registran caudales altos con un máximo de  $64,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , y para el período de septiembre a diciembre, se registran caudales bajos, con un mínimo de  $6,25 \text{ m}^3/\text{s}$ .; esta gran variabilidad en los caudales, es importante para establecer el impacto que la descarga del efluente de la PTAR con un caudal constante, puede generar en la calidad del agua del río, puesto que en período de verano el factor de dilución es muy bajo,

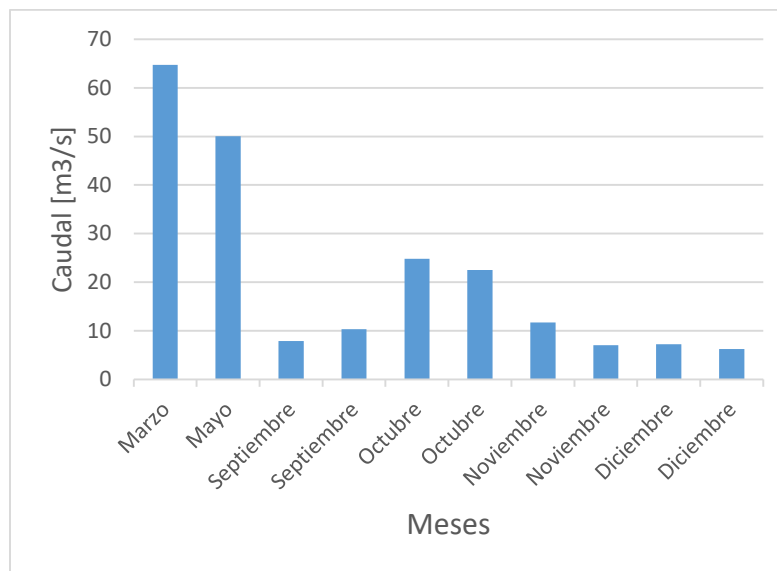


Gráfico 7: Variabilidad del caudal

## 5.2. ÍNDICE ICA

En la Tabla 28 se observa que en los dos primeros monitoreos correspondientes a caudales elevados, el índice de calidad del agua (ICA) cataloga al río como “*poco contaminado*” antes y después de la descarga; esto implica que no existe mayor impacto cuando el río trabaja con caudales altos, debido que la descarga del efluente de la PTAR experimenta un alto grado de dilución.

En caudales bajos en cambio, el ICA desciende a “*contaminado*” tanto antes como después de la descarga del efluente, esto es debido a que el río al estar previamente contaminado y trabajar con caudales muy bajos, sus condiciones de autodepuración son escasas y su calidad disminuye sustancialmente.



Para los meses de septiembre y octubre con caudales medios, se observa que en ocasiones el ICA pasa del estado poco contaminado (antes de la descarga) al estado contaminado (después de la descarga), en estos meses se podría decir que es más notorio el impacto que produce la descarga en la calidad del agua en el río Cuenca utilizando el índice ICA.

El ICA es un índice muy utilizado en diversos países para determinar y categorizar la calidad de un cuerpo de agua, el problema que implica su uso es que es un valor subjetivo cuando se requiere un estudio ambiental, esto debido a que su resultado es un valor general al cual le corresponde un estado de significancia.

En el gráfico 3 se muestra la variabilidad del ICA respecto al caudal registrado; se observa que la variación de la calidad es mayor en períodos de verano, lo cual es muy importante, puesto que el río en este período por sí sólo ya presenta una calidad deficiente que se ve afeorada con la descarga del efluente; no obstante, algunos parámetros encuentran un alivio en la descarga.

Como información adicional, se disponen de valores del índice ICA en el trabajo de titulación de Gabriela Peñafiel Romero titulada “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TOMBAMBA MEDIANTE EL ÍNDICE ICA DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA” realizada en el año 2014. Este trabajo presenta los índices ICA de 7 estaciones a lo largo del río Tomebamba, de las cuales una está ubicada a la altura de Ucubamba, antes de la PTAR (estación 6) y que se corresponde con la estación denominada “Antes”, en el actual trabajo; se revisaron los datos de esa estación, y se observa que el ICA mínimo es de 47,36 y el máximo es de 59,33; a diferencia del mínimo y máximo en el presente trabajo, 45,91 y 54,39 respectivamente, lo que significa que la calidad del río evoluciona hacia un mayor deterioro.

**Tabla 46: Comparación valores ICA con estudio previo**

ESTACIÓN	16-mar-17	04-may-17	14-sep-17	27-sep-17	12-oct-17	26-oct-17	08-nov-17	23-nov-17	06-dic-17	13-dic-17
	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9	Monit 10
Antes	54,39	54,16	49,82	51,77	49,79	52,04	53,16	45,91	49,39	47,77
Estado	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado
ESTACIÓN	06-mar-13	10-abr-13	02-may-13	04-jun-13	20-jun-13	04-jul-13	12-sep-13	03-oct-13	24-oct-13	



		Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Monit 7	Monit 8	Monit 9
6	ICA	55,55	51,22	48,26	59,33	54,37	47,36	53,28	55,00	54,27
	Estado	Poco contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado	Contaminado	Poco contaminado	Contaminado	Contaminado

### 5.3. MATRIZ DE LEOPOLD

Con objeto de establecer el impacto de la descarga del efluente de la PTAR en el valor del ICA del río, se aplicó la matriz distributiva de Leopold, la cual evalúa parámetro por parámetro y determina su impacto específico. En la matriz, se establece como única acción causa de impacto, el vertido del efluente de la PTAR de Ucubamba; esta acción afecta el factor ambiental “agua del río”, en sus características: físicas, químicas y microbiológicas. El criterio utilizado fue su uso, especialmente para consumo humano. Según (Metcalf, 2014) las características físicas constituyen el aspecto más importante para que el usuario acepte el agua. Toda la matriz está calificada sobre 1000 puntos y se distribuyó de la siguiente forma:

- Factores físicos → 400 puntos
- Factores químicos → 300 puntos
- Factores microbiológicos → 300 puntos

Los factores físicos se califican sobre un mayor puntaje debido que estos son los que mayor dificultad presentan en el momento de tratar el agua, ya sea para el uso doméstico como para sus demás usos, el restante se dividió en partes iguales correspondientes a 300 puntos cada uno.

Los parámetros escogidos para evaluar los distintos factores son los mismos evaluados en el índice ICA, esto por razones de facilidad en la transformación a unidades ambientales, por disponer de las correspondientes funciones de transformación.

La incidencia se calculó considerando los atributos de orden cualitativo que acompañan a la alteración, de mayor significancia para la calidad del agua, por ejemplo, para el oxígeno disuelto:

*Tabla 47: Valores otorgados a los atributos para el parámetro Oxígeno disuelto*

Oxígeno Disuelto	
Inmediatez	2/2
Acumulación	2/2



Momento	3/3
Persistencia	3/3
Reversibilidad	1/3
Continuidad	2/2
<b>Incidencia</b>	<b>0,78/1</b>

Para la *inmediatez* se le otorgo el valor máximo ya que el cambio que el efluente de la PTAR produce sobre el oxígeno disuelto en el río se produce de manera inmediata afectándolo y disminuyéndolo; para el atributo de *acumulación* se asignó su máxima incidencia porque existe un incremento continuo en la gravedad cuando se prolonga esta acción.

En cuanto al *momento* en el que se produce el efecto, la incidencia es máxima, dado que el lapso de tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del efecto es muy corto; para la *persistencia* también se optó por el valor máximo ya que su acción es permanente; la *reversibilidad* es un atributo importante ya que se refiere a la posibilidad que tiene el medio de asimilar el impacto y recuperar sus condiciones iniciales; por esta razón se optó por tomar el menor valor, ya que el río recupera el oxígeno disuelto por aireación y contacto con la atmósfera, entonces el impacto es reversible; por ultimo para el atributo de *continuidad* se tomó el valor máximo, dado que su manifestación es constante en el tiempo.

Finalmente se analizan los valores del impacto que se muestran en la Tabla 31; no sólo existen impactos negativos sino también positivos. Como es el caso de la turbiedad, pH, fosfatos totales, Coliformes y E. Coli. Esto significa que, en tiempo de sequía, el efluente de la planta diluye estos parámetros ayudando así a la calidad del río. Uno de los factores más importantes es la disminución de E. Coli. ya que éste es un indicador de contaminación fecal del agua, y por lo tanto la posibilidad de que el agua vehicule gérmenes patógenos causantes de las enfermedades hídricas; aunque el valor disminuya, no significa que el río pase a una condición mejor; el riesgo sigue siendo alto.

Existen parámetros cuyo impacto está registrado con un valor de cero, estos son los sólidos disueltos y los nitratos; su explicación radica en que tanto antes como después de la descarga sus valores son tan bajos que no representan afectación en la calidad del agua del río. Por otro lado, observamos que el mayor impacto negativo producido por el efluente de la planta es causado por



el Nitrógeno Amoniacal, este compuesto es producido por la descomposición de materia orgánica presente aún en la descarga.

En la Tabla 32 se realiza la suma de los impactos negativos y positivos, teniendo como resultado que el impacto total producido por la descarga del Efluente de la PTAR al río Cuenca, es un impacto “Compatible”.

#### 5.4. NIVEL DE EUTROFIZACIÓN

Se analizó el río desde el punto de vista del estado Trófico, debido a que el efluente presenta una coloración verde pronunciada, lo que significa gran presencia de algas. En la Tabla 34 es evidente el impacto; en todos los monitoreos a excepción del 5 y 6 que por razones de mantenimiento de la PTAR una de las dos compuertas de descarga se encontraba parcialmente cerrada, el río pasa a condiciones de eutrofización, con valores de clorofila que oscilan entre 30 y 60 ug/L. Ver tabla 48.

*Tabla 48: Valores de clorofila medidos antes y después de la descarga en cada monitoreo*

Monitoreo	Mes	Valor clorofila antes	Valor clorofila después
2	Mayo	0,84	30,52
3	Septiembre	1,16	58,36
4	Septiembre	1,37	51,81
5	Octubre	1,13	7,79
6	Octubre	0,99	14,75
7	Noviembre	0,49	50,82
8	Noviembre	3,31	38,35
9	Diciembre	3,11	46,08
10	Diciembre	1,06	48,42





Un aspecto que debe notarse, es que el río antes de la descarga está caracterizado como *oligotrófico* en el monitoreo 2 y 7, y en el resto como *mesotrófico*, con valores ITS muy cercanos a 70, este valor es el límite para convertirse en oligotrófico. Esto quiere decir que el río antes de la descarga se encuentra en buenas condiciones respecto a niveles de eutrofización y es la descarga del efluente de la PTAR la causa de que adquiera condiciones eutróficas.

El índice ITS se usa fundamentalmente para evaluar cuerpos de agua estacionarios, es decir lagos, embalses, entre otros; pero también es aplicable para cuerpos de agua superficiales tales como ríos, estuarios, entre otros (Moreno, Quintero, & Lopez, 2010). Decir que el río se encuentra en condiciones eutróficas, significa elevada producción de algas, y concentraciones excesivas de nitrógeno y fosforo, que propiciarán su proliferación. La presencia de organismos fotosintéticos afectará en zonas lentas o de depósito del río donde será evidente el desarrollo de masas algales, que afectan los usos posteriores del agua, especialmente el destinado a consumo humano.

En el grafico 6 se muestra la variabilidad del índice ITS respecto a los caudales registrados, aquí se observa que las concentraciones de clorofila, aumentan ligeramente en forma lineal; es decir que la carga contaminante de clorofila se produce de manera constante e invariable con respecto al caudal del río. Por lo tanto, el impacto en el nivel de eutrofización es muy alto y su magnitud no depende del período climatológico, ya que ambas tendencias lineales antes y después son aproximadamente paralelas.

## **5.5. CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS**

De todos los parámetros establecidos en la normativa TULSMA (Anexo C), la mayor parte y los más significativos fueron medidos en el laboratorio, por lo que se dispone de información suficiente para los objetivos propuestos en el presente estudio. Se analizó el cumplimiento de los límites para todos los usos del agua descritos en la normativa, así como para el vertido de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce.

### **5.5.1. CONSUMO HUMANO O DOMESTICO**

Se establecen 22 parámetros con límites requeridos por la normativa, de los cuales en laboratorio se analizaron 14 de ellos; en la Tabla 38 se exhiben los 7 parámetros que no cumplen con estos límites tanto antes como después de la descarga, entre los más importantes están la DBO<sub>5</sub>, DQO



y E. Coli. Un parámetro importante objetado es la turbiedad, pero esto ocurre en el primer monitoreo, en época de invierno, cuando se registró un caudal de 64.7 m<sup>3</sup>/s, por lo que era de esperarse el arrastre de sólidos. Los valores de E. Coli registran valores de hasta 1000 veces el límite.

### **5.5.2. PROTECCIÓN DE LA FLORA Y FAUNA**

Se establecen 38 parámetros con límites requeridos por la normativa, de los cuales en laboratorio se miden 17; en la Tabla 39 se indican los 11 parámetros que no cumplen con estos límites; entre los más importantes se citan: el zinc, níquel, silicio y DQO, los mismos que superan los límites, tanto antes como después de la descarga, excepto la DQO que, si cumple en la mayoría de monitoreos antes de la descarga, pero después de la misma, no.

Estos minerales se encuentran hasta 25 veces el límite establecido.

### **5.5.3. USO AGRÍCOLA**

Se establecen 27 parámetros con límites requeridos por la normativa, 14 analizados en el laboratorio; la Tabla 40 muestra los 5 parámetros que no cumplen con estos límites, entre los más importantes el Silicio y E. Coli, que no cumplen para todos los monitoreos tanto antes como después de la descarga. Los valores de Silicio se encuentran hasta 6 veces el límite establecido.

### **5.5.4. USO PECUARIO**

Se establecen 14 parámetros con límites requeridos por la normativa, 9 medidos en el laboratorio; la Tabla 41 indica el parámetro que no cumple con estos límites, los E. Coli no cumplen para todos los monitoreos tanto antes como después de la descarga.

### **5.5.5. USO RECREATIVO**

Se establecen 8 parámetros con límites requeridos por la normativa, 3 analizados en el laboratorio; la Tabla 42 indica que los coliformes totales es el parámetro no cumple para todos los monitoreos tanto antes como después de la descarga, con valores hasta de 3500 veces el límite establecido.



### **5.5.6. USO ESTÉTICO**

Para el uso estético la normativa establece diferentes criterios; en la Tabla 43 se muestran los parámetros que no cumplen con estos objetivos de calidad; la turbiedad presenta valores hasta 6 veces el límite establecido en todos los monitoreos, tanto antes como después de la descarga.

### **5.5.7. DESCARGA DE EFLUENTES A UN CUERPO DE AGUA DULCE**

Se establecen 44 parámetros con límites requeridos por la normativa, 22 analizados en laboratorio; la Tabla 44 indica 2 parámetros objetados: la temperatura y E. Coli; la temperatura no debe superar 3°C. a la condición natural del río al cual es vertido el efluente; esta temperatura es de 19.44°C ya sumado los 3°C., y la temperatura del efluente es de 20.88°C., por lo tanto es aproximadamente 1.4°C superior al límite. El valor de E. Coli se encuentra 46 veces el límite establecido.

## **5.6. USOS OTORGADOS POR LA SECRETARIA DEL AGUA**

Los resultados obtenidos en el capítulo 4.5 muestran explícitamente que el río Cuenca tanto antes como después de la descarga, no cumple los parámetros establecidos para sus distintos usos, razón por la cual se podría decir que dado el estado en que se encuentra el río actualmente el impacto que genera la descarga del efluente de la PTAR es compatible; no obstante, la descarga si afecta la calidad del agua en ciertos parámetros mientras que en otros diluye sus concentraciones.

El río Cuenca en el tramo de estudio no se encuentra en condiciones de otorgar ningún uso; aguas abajo de la PTAR de Ucubamba se encuentra la zona residencial de Challuabamba, la misma que descarga sus aguas residuales directamente al río, esta situación empeora dramáticamente la calidad del mismo. Esta es una de las razones por la cual se encuentra en proceso de Diseño la nueva planta de tratamiento de lodos activados de Guangarcucho, para tratar las aguas residuales de esta zona y además de aliviar la sobrecarga actual en la PTAR de Ucubamba.



## CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- La obtención de variables hidráulicas en un período climatológico representativo, es decir en época de invierno y verano, es sumamente importante para correlacionar datos de calidad con datos de caudal y definir niveles extremos donde el impacto es máximo y mínimo.
- Se demostró que existe una relación directamente proporcional entre la calidad del agua y el caudal del río; a caudales altos un río es capaz de diluir y asimilar concentraciones de un cierto contaminante, en cambio en caudales de estiaje su capacidad de autodepuración se ve disminuida, por lo que representa la condición más crítica de la contaminación.
- La evaluación de la calidad del agua mediante el índice ICA, muestra que el río Cuenca antes de la descarga se encuentra en condiciones de “*poco contaminado*” sea en época de invierno o de verano, y este tras la descarga del efluente pasa a condiciones de “*contaminado*” únicamente en época de verano, mientras en invierno mantiene su condición de “*poco contaminado*”; por lo que el mayor impacto en la calidad del agua se genera en verano (caudales de estiaje).
- Se encontró que la descarga de la PTAR no genera un impacto negativo total; ofrece un impacto positivo hacia el río Cuenca, diluyendo ciertos parámetros como es el caso de los coliformes fecales, los nitratos, entre otros.
- Quizás el mayor impacto de la descarga, representa el cambio del nivel trófico que experimenta el río; antes de la descarga es un río *Oligotrófico*, y luego de la descarga pasa a *Eutrófico* en la mayoría de los monitoreos, sobre todo en verano. Mediante el ITS se demuestra que la clorofila en el 22% de los monitoreos, cambia la condición de *Oligotrófico* a *Eutrófico*; en el 56% de *Mesotrófico* a *Eutrófico* y en un 22% mantiene su estado *Mesotrófico*.
- Los nutrientes de nitrógeno y fosforo que se encuentran en altas concentraciones en el afluente, y la exposición a la luz solar, son condiciones propicias para mantener el río Cuenca, en un nivel de Eutrofización casi constante e independiente del período climatológico; por lo que este impacto tiene una alta incidencia; es catalogado como: Impacto permanente, acumulativo, a corto plazo, directo, e irreversible.



- El agua del río Cuenca en la zona de estudio según la normativa TULSMA carece de propiedades necesarias como para otorgar usos al mismo. Para consumo humano o doméstico existen parámetros que se encuentran hasta 1000 veces el límite establecido; para la protección de la flora y fauna, algunos parámetros se encuentran hasta 25 veces más; en general ningún uso descrito en la normativa cumple a cabalidad.
- El arsénico fue un parámetro que se analizó únicamente en el décimo monitoreo antes de la descarga, después de la descarga y en el efluente de la PTAR. Se obtuvo un valor de 3 ug/lit, el mismo valor antes y después del efluente, lo que implica que es originada aguas arriba de la PTAR por alguna industria.
- Entre las metas propuestas por ETAPA en el año 2000 para la conservación de la calidad de los ríos de Cuenca y en específico para la zona de descarga de la PTAR , los coliformes fecales se encuentran antes y después de la descarga hasta 400 veces mayor al valor establecido.
- El efluente tratado de la PTAR, según la normativa TULSMA cumple con los límites establecidos, a excepción de su temperatura y valor de coliformes fecales (E. Coli), los mismos que se encuentran 46 veces el valor establecido.
- En estudios anteriores, correspondientes al año 2012, se realizaron evaluaciones de la calidad del agua mediante el índice ICA para el río Cuenca antes de la PTAR de Ucubamba; los resultados de estos monitoreos son compatibles a los realizados en este estudio, lo que implica que la calidad del río Cuenca en este punto no ha mejorado en los últimos 6 años.
- Uno de los factores que más afecta la calidad del agua en general, es el alto índice de coliformes porque implica un alto riesgo sanitario, y es debido a la contaminación difusa existente a lo largo de toda la subcuenca del río en estudio y difícil de controlar; así la construcción de los interceptores marginales logra disminuir la carga contaminante orgánica de los ríos, lo cual es muy beneficioso para el medio ambiente, pero el problema de salud pública, continúa latente.

## RECOMENDACIONES



- El uso de equipos especiales como Flow Tracker es esencial para ríos de gran magnitud como el río Cuenca, lo que permite datos más confiables de caudal y por ende correlaciones más confiables.
- Los interceptores marginales actualmente construidos en las orillas de los ríos y quebradas importantes de la ciudad de Cuenca llegan únicamente hasta la PTAR de Ucubamba; a fin de evitar mayor deterioro en la calidad del río, éstos deberían continuar por lo menos hasta el lugar donde se construirá la nueva Planta de lodos activados de Guangarcucho.
- La presencia de arsénico en el río, a pesar que se encuentra en cantidades menores al límite dispuesto por la normativa, es de preocuparse ya que esta carga contaminante no es proveniente de la planta; por lo tanto, se recomienda la búsqueda del origen de este contaminante toxico.
- Las adjudicaciones otorgadas por la SENAGUA para el río Cuenca en la zona de estudio (doméstico, agrícola e industrial), es incompatible con la calidad del río.
- Es necesario un mayor control de descargas de aguas residuales domésticas directamente a los ríos; las acciones complementarias por parte de ETAPA EP, para evitar la contaminación, deben estar vinculadas a la gestión de organismos encargados de la planificación urbana; sólo de esta manera se evitará descargas no autorizadas y descargas no interceptadas para mejorar las condiciones de los cuerpos receptores.
- Las aguas tratadas presentan niveles de nitrógeno, fósforo y clorofila propios del tratamiento y generación de microalgas en el proceso del mismo, estos compuestos son los esperados en un efluente con este tipo de tratamiento; es más, entre más verde sea la coloración del agua, más eficiente es el mismo. Si el tratamiento de las aguas residuales, hubiese contemplado la protección de todos los usos del cuerpo receptor, entonces se habría diseñado un tratamiento terciario para eliminar los nutrientes y mejorar las condiciones del efluente; no obstante, este objetivo no es propio de ciudades de países en vías de desarrollo, por falta de espacio y costo en el tratamiento.
- Los centros de investigación como las universidades en vinculación con ETAPA, deben emprender estudios para buscar un tratamiento de desinfección del efluente previo su tratamiento; quizás la opción más barata y segura sea la adición de cloro; no obstante, los efectos de los derivados de este compuesto, aguas abajo del punto de descarga, es el factor que debe estar perfectamente controlado. Es importante anotar que, para cuerpos



receptores, está permitida una concentración de cloro residual libre de hasta 0,5 mg/l, margen de concentración que hace posible la aplicación de este desinfectante.

## **Bibliografía**

Agricultura, M. (2005). *Manual de Hidrometria*. INRENA.

Alley, E. R. (2007). *Water Quality Control handbook*. Chicago: McGrawHill.



- Bain, M., & Stevenson, N. (1999). *Aquatic Habitat Assessment*. Maryland: ASF.
- Barranates, M. (2007). *Integración de indicadores de sostenibilidad en la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos industriales*. Sevilla: E-reding.
- Bermeo, A. (2014). *Incidencia de los resultados de regularización ambiental por efluentes industriales en la PTAR de Ucubamba*. Cuenca.
- Boiten, W. (2005). *Hydrometry*. Balkema.
- Catalán LaFuente, A., & Catalán, J. (1987). *Ríos: Caracterización y calidad de sus*. Madrid: DIHIDROX.
- COFES, C. F. (s.f.). *Cuantificación de la Clorofila a*. Buenos Aires.
- Conagua, & Semarnat. (2010). *Indicador de calidad del agua*. Mexico: CEA.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. MP.
- Cruz, V., Gallego, E., & Gonzales, L. (2009). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Valencia: Sia.
- Daphne, L. (1994). Hazardous organic waste amenable to biological treatment. *Biotechnology for the Treatment of Hazardous Waste*.
- Engineers, U. A. (1998). Water Resources Assessment of Ecuador. *Mobile District and Topographic Engineering Center*.
- ETAPA. (2017). *etapa.net*. Obtenido de <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Ucubamba>
- ETAPA, E. (1983). *Planes Maestros*. Cuenca.
- ETAPA, E. (2016). *ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL EX POST PTAR UCUBAMBA*. Cuenca.
- ETAPA, E. (2017). Cuenca.
- EXO. (18 de 09 de 2017). *EXO2 Sonde*. Obtenido de <https://www.exowater.com/exo2.php>





- Expo, M. (15 de 09 de 2017). *Frasco de laboratorio Cole Parmer*. Obtenido de <http://www.medicaexpo.es/prod/cole-parmer/product-98375-663594.html>
- GlobalSpec. (08 de 09 de 2017). *Dissolved Oxygen Meters Information*. Obtenido de [http://www.globalspec.com/learnmore/sensors\\_transducers\\_detectors/analytical\\_sensors/dissolved\\_oxygen\\_instruments](http://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/analytical_sensors/dissolved_oxygen_instruments)
- Gomez, D. (2002). *Ordenacion Territorial*. Mexico: Mundi-Prensa.
- Gomez, D. (2003). *Evaluacion de Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- INAMHI. (2015). *ANUARIO, METEREOLÓGICO*. Quito.
- Leopold, L. (1971). *A proceduro for evaluating Environmental Impact*. Washington DC: Geological Survey.
- Mara, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in developing countries*. London: EARTHSCAN.
- Martin, C. (2007). *Indicadores de calidad ambiental*. TOP.
- Mazzeo, N., Clemente, J., Garcia, F., Gorga, J., & Kruk, C. (s.f.). *Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo*.
- Mendoça, S. R. (1999). *Lagunas de estabilización*. Organización Panamericana de la Salud.
- Metcalf, y. E. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. California: McGrawHill.
- Moreno, D., Quintero, J., & Lopez, A. (2010). *Metodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*.
- Noyola, A., & Morgan-Sagastume, J. (2013). *Selección de Tecnologías para el tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO .
- OMS, O. m., & UNICEF. (2015). Progreso en materia de Agua Potable y Saneamiento. *Biblioteca OMS*.
- Ordoñez, G. (2008). *De la bacinilla a la alcantarilla*. Cuenca: U ediciones.



- Planta de agua para limpiar ríos de Cuenca. (29 de Abril de 2002). *El Universo*, pág. 1.
- Real, C. (2015). *Agua y Ecosistemas*. CAF.
- Rengel, A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Cuenca: CAMAREN.
- Rojas, R. (2002). *Gestion Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima: CEPIS/OPS-OMS.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales*. Lima: CEPIS/OPS-OMS.
- Senamhi. (2011). *Guia de Hidrometria*. Lima.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: EDICIONES DE LA U.
- Sperling, M. v. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. New York: IWA.
- Tebbut, T. (1995). Fundamentos del control de la calidad del agua. *Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Birmingham*.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). *Indices de calidad de agua en fuentes superficiales*. Medellín.
- United Nations. (2015). *The Millennium Development Goals Report 2015*. Obtenido de [http://www.un.org/millenniumgoals/2015\\_MDG\\_Report/pdf/MDG%202015%20Summary%20web\\_english](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20Summary%20web_english)
- Vigil, K. (2003). *Clean Water*. Oregon: OSU.
- Yanez, F. (2000). *Experiencia en el Ecuador con Lagunas de estabilizacion de gran tamaño en altura*. Porto Alegre.
- YSI, I. (08 de 09 de 2017). *55 Dissolved Oxygen Instrument*. Obtenido de <https://www.yei.com/55>
- Zhen, G. J. (2008). *Hydrodynamics and Water Quality*. WILEY.





## **ANEXOS**

### **ANEXO A: FUNCIONES DE TRASFORMACIÓN**

Se define las ecuaciones y gráficos necesarios para transformar valores naturales a valores de calidad de agua.



**pH:**

$I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.44}$	Si el pH es menor que 6.7	Ec (1a)
--	---------------------------	---------

$I_{pH} = 100$	Si el pH está entre 6.7 y 7.3	Ec (1b)
----------------	-------------------------------	---------

$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}}$	Si el pH es mayor que 7.3	Ec (1c)
---	---------------------------	---------

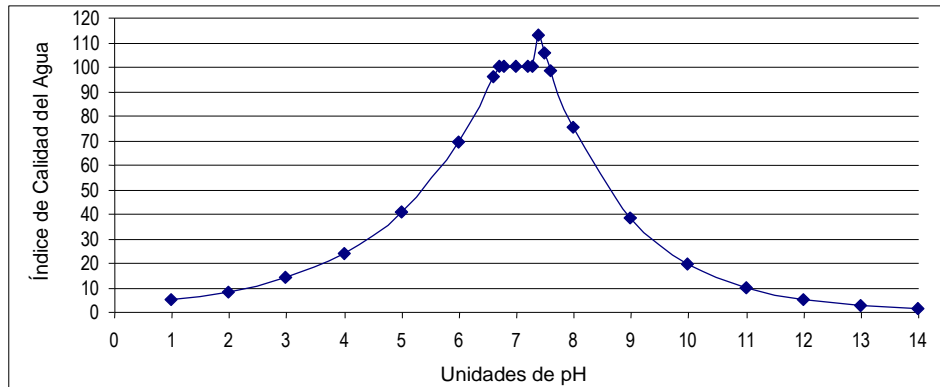


Gráfico 8: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH

**COLOR:**

$I_C = 123 (C)^{-0.295}$	.....	Ec (2)
--------------------------	-------	--------

(C) en unidades de color escala de platino-cobalto

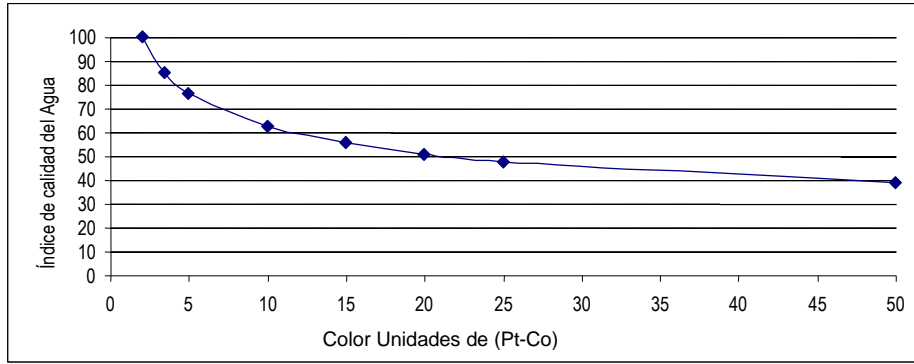


Gráfico 9: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del color

**TURBIEDAD:**

$$I_T = 108 (T)^{-0.178} \dots\dots\dots Ec (3)$$

(T) turbiedad en unidades de UTJ

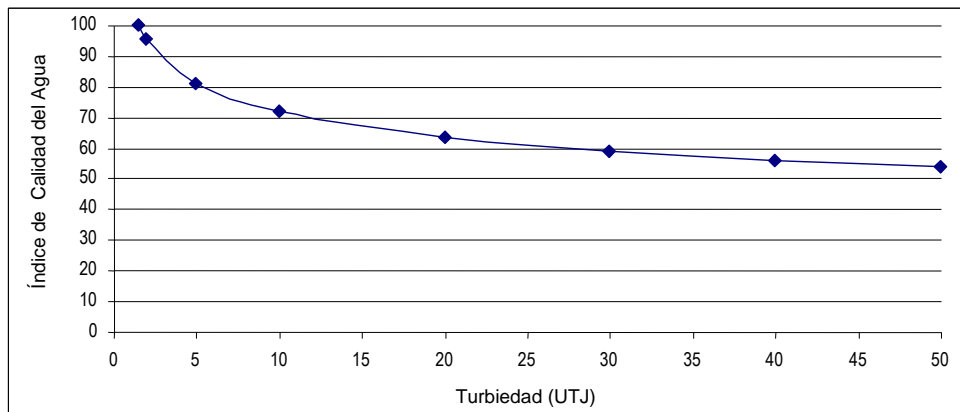


Gráfico 10: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de turbiedad

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS:**

$$I_{ss} = 266.5 (SS)^{-0.37} \dots\dots\dots Ec (4)$$



(SS) Sólidos Suspendidos en mg/l

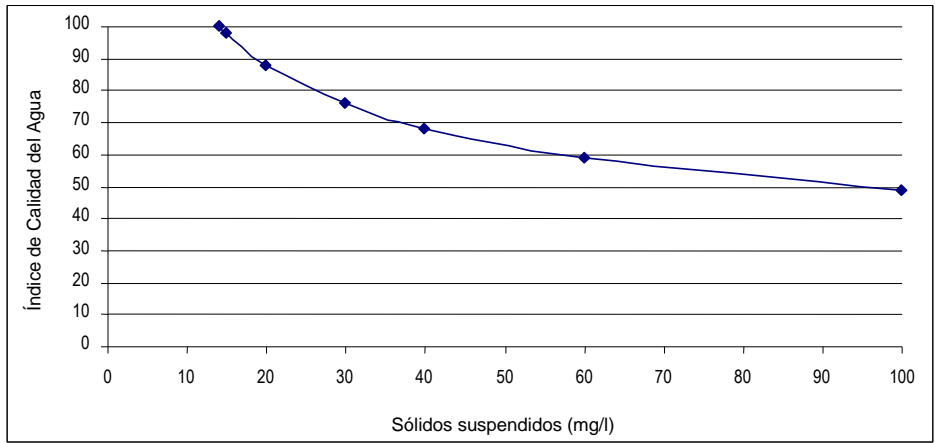


Gráfico 11: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos suspendidos

### SÓLIDOS DISUELTOS:

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD) \dots\dots\dots Ec (5)$$

(SD) Sólidos Disueltos en mg/l

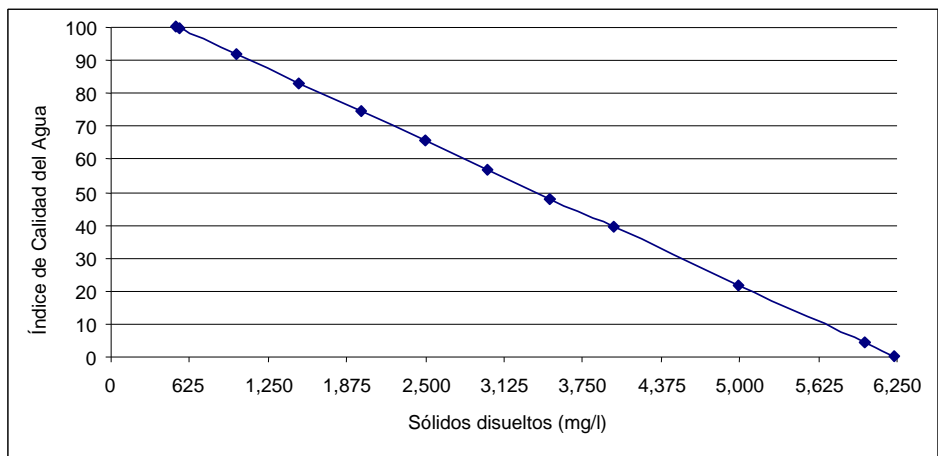


Gráfico 12: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos disueltos



### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:

$$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379} \dots\dots\dots Ec (6)$$

(CE) Conductividad Eléctrica en  $\mu\text{mhos/cm}$

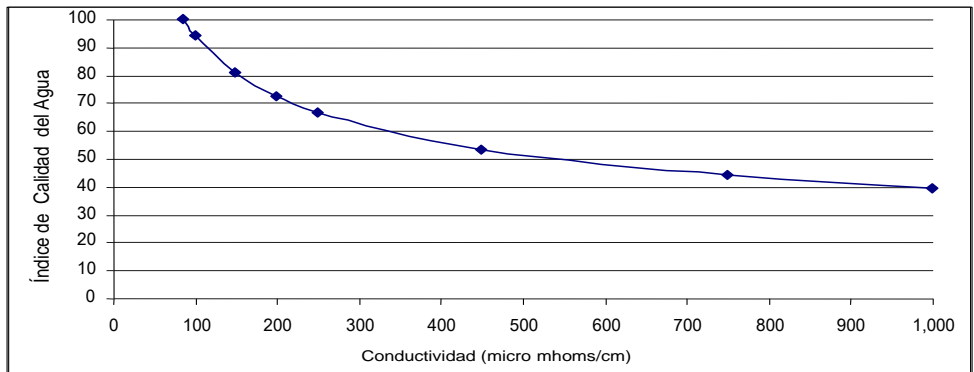


Gráfico 13: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de conductividad eléctrica

### ALCALINIDAD:

$$I_A = 105 (A)^{-0.186} \dots\dots\dots Ec (7)$$

(A) Alcalinidad en  $\text{mg/l}$  como  $\text{CaCO}_3$



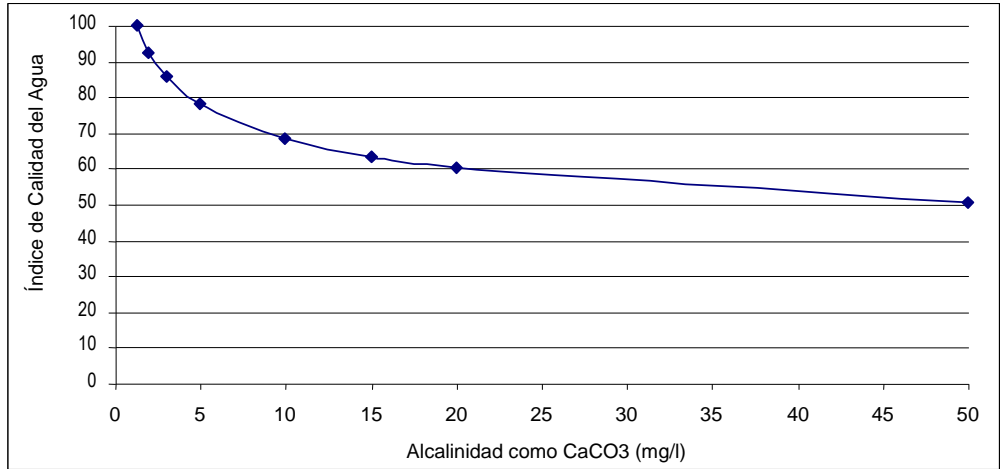


Gráfico 14: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de alcalinidad

**DUREZA TOTAL:**

$$I_{DT} = 10^{1.974 - 0.00174(DT)} \dots\dots\dots Ec (8)$$

(DT) Dureza Total en mg/l como CaCO<sub>3</sub>

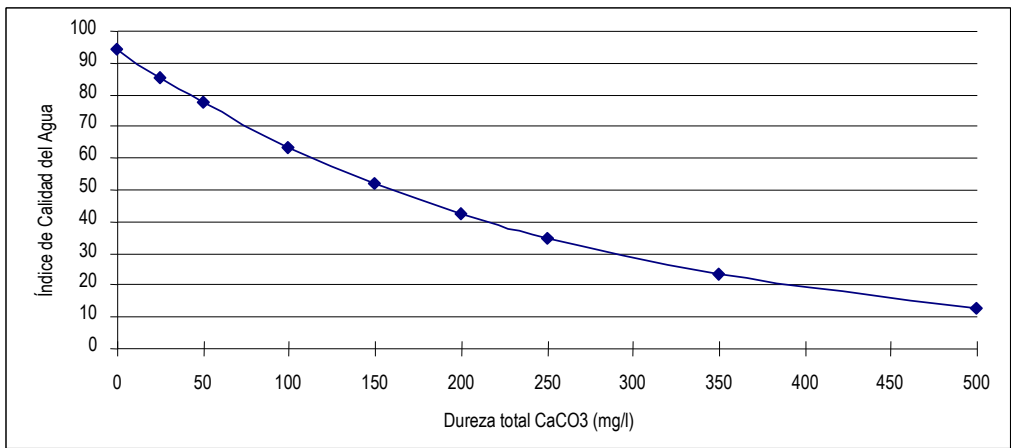


Gráfico 15: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de dureza total

**NITRÓGENO DE NITRATOS:**



$$I_{N-NO_3} = 162.2 (N-NO_3)^{-0.343} \dots\dots\dots Ec (9)$$

(N-NO<sub>3</sub>) Nitrógeno de Nitratos en mg/l

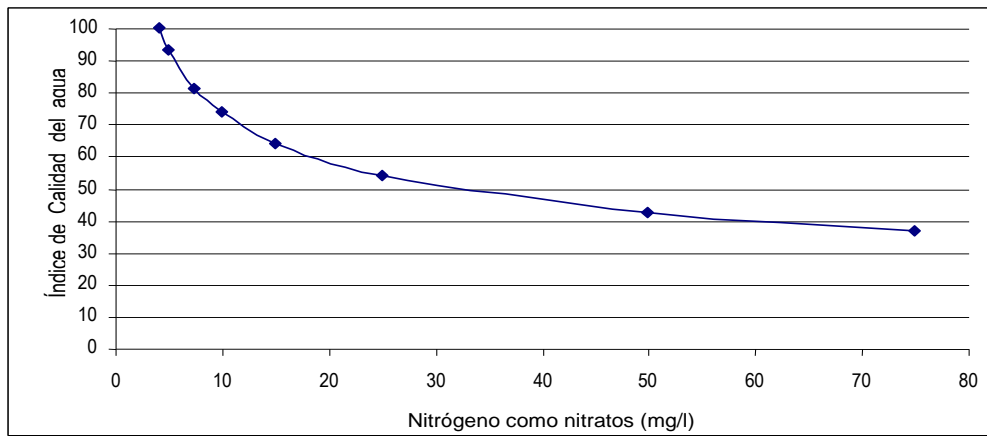


Gráfico 16: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitratos

### NITRÓGENO AMONIACAL:

$$I_{NH_3} = 45.8 (N-NH_3)^{-0.343} \dots\dots\dots Ec (10)$$

(N-NH<sub>3</sub>) Nitrógeno amoniacal en mg/l

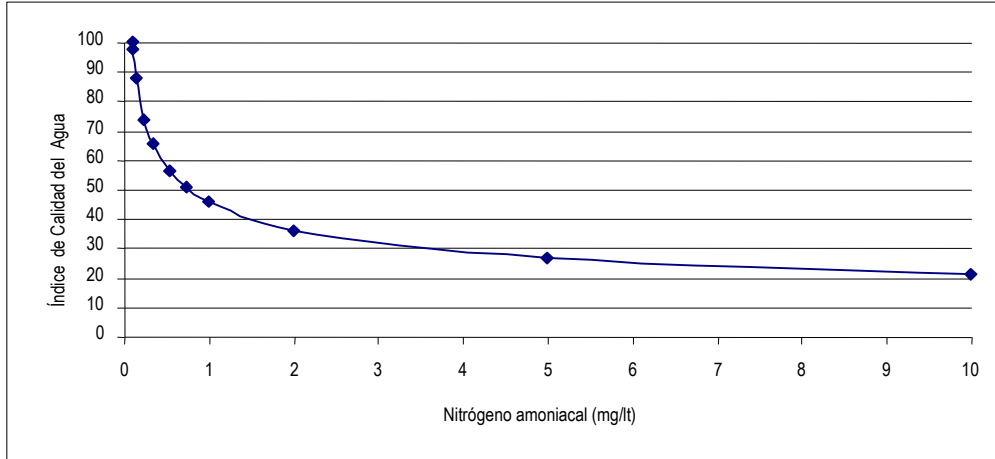


Gráfico 17: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitrógeno amoniacal

**FOSFATOS TOTALES:**

$$I_{PO4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46} \dots\dots\dots Ec (11)$$

(PO<sub>4</sub>) Fosfatos Totales en mg/l

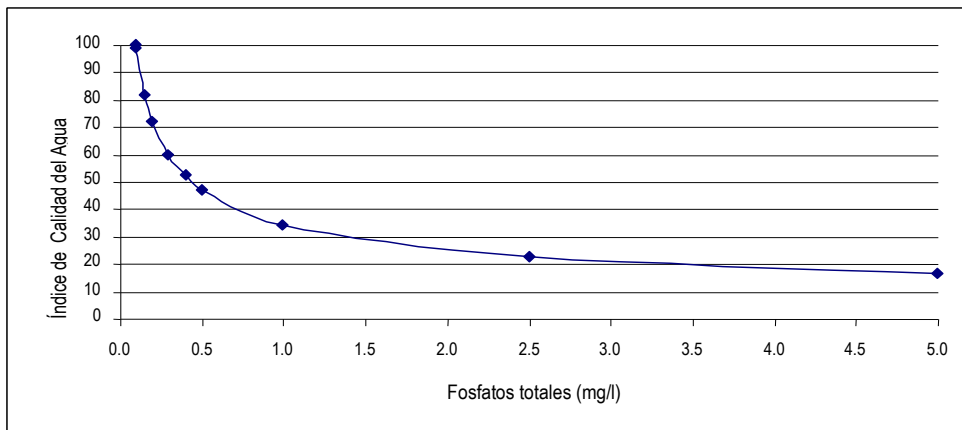


Gráfico 18: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de fosfatos totales



**CLORUROS:**

$$I_{Cl} = 121 (Cl)^{-0.223} \dots\dots\dots Ec (12)$$

(Cl) Cloruros en mg/l

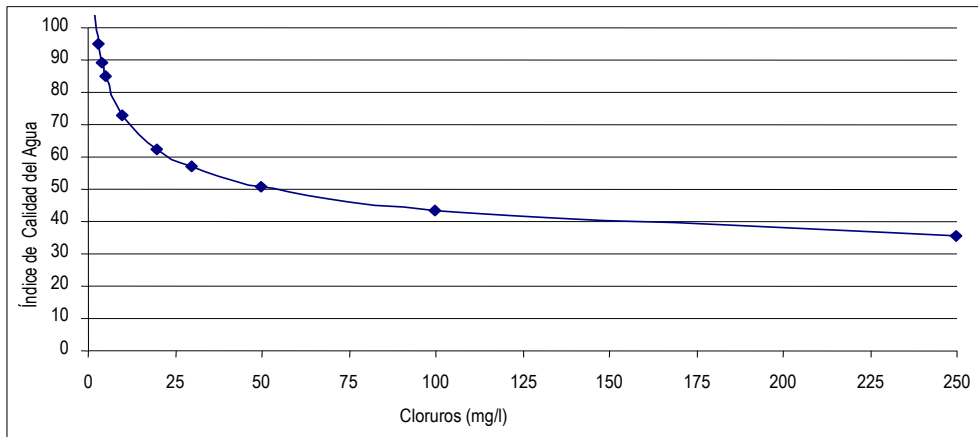


Gráfico 19: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de cloruros

**OXÍGENO DISUELTO:**

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100 \dots\dots\dots Ec (13)$$

(OD) Oxígeno Disuelto en mg/l y a T. de campo (T<sub>c</sub>)

(Oxígeno Disuelto)<sub>sat</sub> mg/l de saturación T<sub>sat</sub> = T<sub>c</sub>

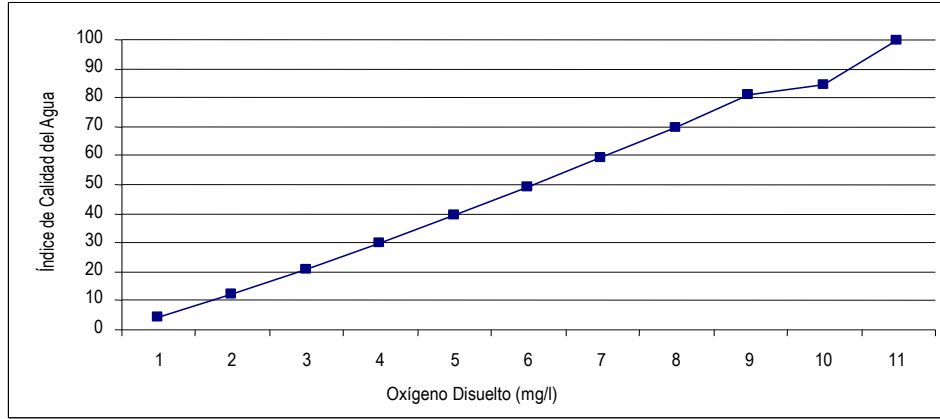


Gráfico 20: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de oxígeno disuelto

### COLIFORMES TOTALES:

$$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27} \dots\dots\dots Ec (14)$$

(CT) Coliformes Totales en NMP / 100 ml

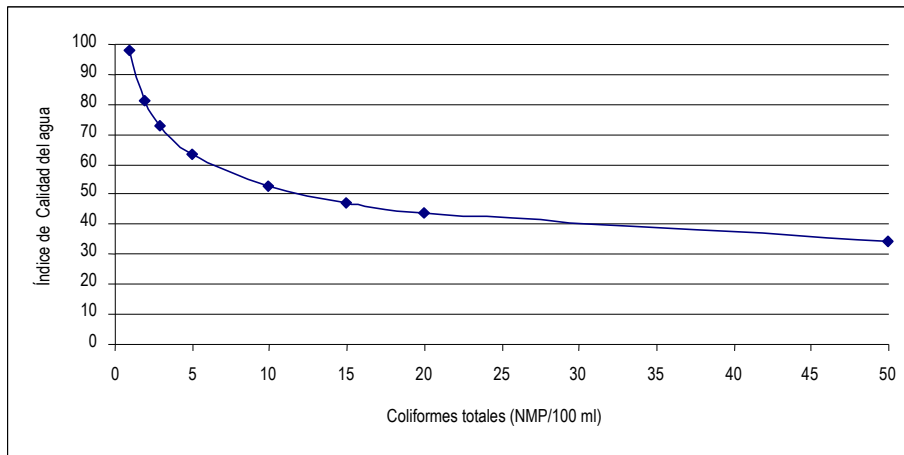


Gráfico 21: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes totales



### COLIFORMES FECALES:

$$I_{Ec} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27} \dots\dots\dots Ec (15)$$

(CF) Coliformes Fecales en NMP / 100 ml

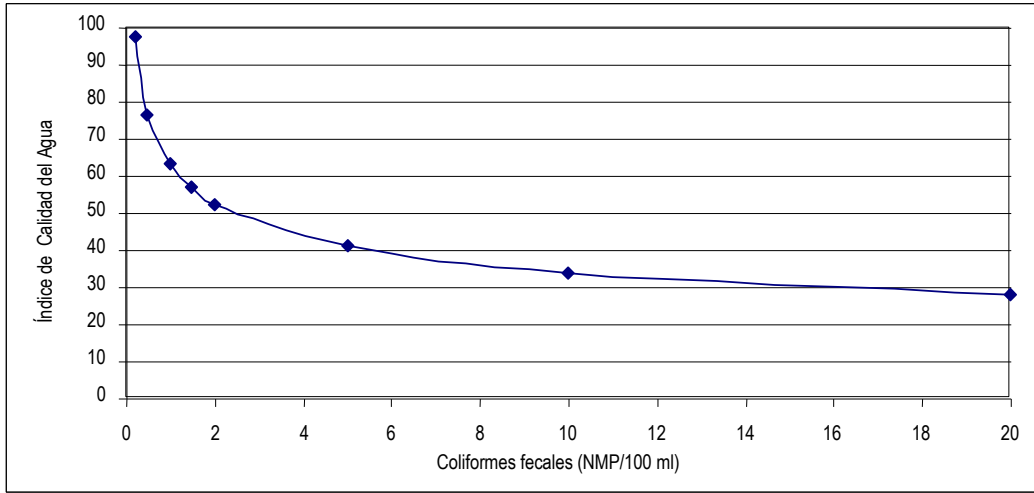


Gráfico 22: Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes fecales



## **ANEXO B: RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

A continuación se muestra resultados de los monitoreos realizados por el laboratorio de sanitaria de la Universidad de Cuenca.



LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Río Cuenca - Ciudad Cuenca - Provincia del Azuay
Tipo de fuente:	Superficial - Soleado
Fecha de toma:	13 de diciembre de 2017
Fecha de Análisis:	13 de diciembre de 2017
Análisis solicitado por:	Carolina Zumba - Daniel Espinoza

PARAMETROS	Río Cuenca (Antes de la Descarga)	Río Cuenca (Después de la Descarga)	Descarga de la Planta de Ucubamba	UNIDAD	OBSERVACIONES
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>					
HORA	9:27	8:56	9:45	am	
TEMPERATURA	13,4	16,44	20,88	°C	in situ
OXÍGENO DISUELT	7,7	7,03	3,45	mg/l	in situ
CLOROFILA	1,06	48,42	61,28	ug/l	
TURBIDIDAD	36,3	35,3	21,5	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	147,0	128,0	146,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	44,0	51,0	66,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	193,1	364,0	673,0	microsiemens/ cm	
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>					
pH	8,0	8,0	7,60		
ALCALINIDAD TOTAL	78,6	124,6	195,2	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F.	0,0	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
DUREZA TOTAL	75,2	91,6	116,0	mg/l, CaCO3	
Ca++	21,7	26,3	38,2	mg/l	
Mg++	5,1	6,3	5,0	mg/l	por cálculo
ALUMINIO	0,018	0,025	0,010	mg/l	
HIERRO TOTAL	0,0	0,0	0,10	mg/l	
MANGANESO	0,1	0,1	0,2	mg/l	
SILICIO	0,67	0,78	0,60	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	1,4	2,1	2,7	mg/l	
CORRIE	0,02	0,01	0,02	mg/l	
FLUORUROS	1,56	1,80	1,96	mg/l	
FÓSFORO REACTIVO	0,30	0,87	1,53	mg/l	como Fósforo
FÓSFORO TOTAL	0,51	1,82	3,72	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	13,5	30,1	46,2	mg/l	
SULFATOS	8,52	19,77	32,22	mg/l	
SULFUROS	0,0	0,0	0,0	mg/l	
N. AMONÍACAL	1,470	2,950	0,740	mg/l	como Nitrógeno
N. NITRITOS	108,80	128,10	88,18	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0,402	0,305	0,153	mg/l	como Nitrógeno
CIANURO	0,002	0,004	0,002	mg/l	
CROMO	0,012	0,013	0,021	mg/l	
ZINC	0,24	0,21	0,19	mg/l	
NIQUEL	0,11	0,12	0,15	mg/l	
ARSÉNICO	3,0	3,0	0,0	ug/l	
SOLIDOS TOTALES	243,0	292,0	374,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	190,0	212,0	232,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLÁTILES	53,0	80,0	142,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	107,0	77,0	56,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	88,0	49,0	30,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	19,0	28,0	46,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	136,0	215,0	318,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	102,0	163,0	222,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES	34,0	52,0	96,0	mg/l	
DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO	15,49	28,20	44,00	mg/l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	31,61	71,13	142,27	mg/l	
<b>PARÁMETROS BIOLÓGICOS</b>					
COLIFORMES TOTALES	2,20E+07	9,20E+06	1,70E+05	NMP/100ml	37°C, 24H
E. COLI	9,40E+06	1,70E+06	9,20E+04	NMP/100ML	37°C, 24H

Responsable

Dra. Guillemina Fauts C.  
QUÍMICO-ANALISTA





## ANEXO C: LÍMITES ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVA TULSMA

Se detallan los límites para los usos definidos en la normativa, así como los límites para la descarga de efluentes hacia un cuerpo receptor de agua dulce.

### CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previa a su potabilización.

Tabla 49: Límites para el uso del agua con fin de consumo humano o domestico

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unid platino/cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
DQO	DQO	mg/l	<4
DBO5	DBO5	mg/l	<2
hierro total	Fe	mg/l	1
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO3	mg/l	50
Nitritos	NO2	mg/l	0,2
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO4	mg/l	500



Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	Unidades nefelometricas de turbiedad	UTN	100

## PRESERVACION DE FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES

Son aquellas aguas destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos.

*Tabla 50: Limites para el uso del agua con fin de protección de la flora y fauna*

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Clorofenoles		mg/l	0,05
Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs.	mg/l	0,001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6,5-9
Aluminio	Al	mg/l	0,1
Arsénico	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro Libre	CN-	mg/l	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,03
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01
Clorofenoles		mg/l	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Plomo	Pb	mg/l	0,001
Cobre	Cu	mg/l	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5



Manganeso	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante	visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitritos		mg/l	0,2
Nitratos	NO3	mg/l	13
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	10
DBO5	DBO5	mg/l	20
DQO	DQO	mg/l	40
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	10
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	Max incremento de 10% condic natural
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

## USO AGRÍCOLA O DE RIEGO

Aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la norma TULSMA.

*Tabla 51: Límites para el uso del agua con fin agrícola*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,01



Cobre	Cu	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1
Hierro	Fe	mg/l	5
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante visible			<b>Ausencia</b>
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	Ausencia
Coniformes Fecales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	<b>Ausencia</b>
Zinc	Zn	mg/l	2

## USO PECUÁRIO

Son utilizadas para el abrevadero de animales, así como otras actividades conexas y complementarias.

*Tabla 52: Límites para el uso del agua con fin pecuario*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico (total)	As	mg/l	0,2



Boro (total)	B	mg/l	5
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cobalto	Co	mg/l	1
Cinc	Zn	mg/l	25
Cobre	Cu	mg/l	2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	1
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Nitritos	N-nitrito	mg/l	0,2
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		1000

## USO RECREATIVO

Son aquellas aguas utilizadas para contacto secundario, es decir para deportes náuticos y pesca.

Tabla 53: Límites para el uso del agua con fin recreativo de contacto secundario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Parásitos Nematodos Intestinales			<b>Ausencia</b>
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		4000
Oxígeno disuelto	O.D.	% Saturación	>80
Materia flotante	<b>visible</b>		<b>Ausencia</b>
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Relación Nitrógeno Fosforo total			15:01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	Ausencia



## USO ESTÉTICO

Las aguas que sean usadas para uso estético, tendrán que cumplir con los siguientes criterios de calidad:

- Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad antrópica.
- Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- Ausencia de sustancias productoras de color, olor, sabor, y turbiedad no mayor a 20 UTN.
- El oxígeno disuelto será no menor al 60% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l.

## LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Aplica a todo efluente tratado que sea vertido a un cuerpo de agua dulce, los límites descritos cumplen criterios de concentraciones máximas permisibles para mantener el objeto de calidad aguas debajo de la descarga.

*Tabla 54: Límites para la descarga de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5



Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<u>1000</u>
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	130
Sólidos totales		mg/l	1 600



Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condic natural +-3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1
Zinc	Zn	mg/l	5





**ANEXO D: TABLA PARA DETERMINAR EL OXIGENO DISUELTO**

VALORES DE OXÍGENO DISUELTO SATURADO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA Y TEMPERATURA											
ALTURA (m)	TEMPERATURA °C										
	6	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
1900	10.34	9.80	9.31	8.86	8.44	8.06	7.70	7.38	7.07	6.79	6.52
2000	10.21	9.68	9.20	8.75	8.34	7.96	7.61	7.28	6.98	6.70	6.44
2100	10.08	9.56	9.08	8.64	8.23	7.86	7.51	7.19	6.89	6.61	6.35
2200	9.95	9.44	8.97	8.53	8.13	7.76	7.41	7.10	6.80	6.53	6.27
2300	9.83	9.32	8.85	8.42	8.02	7.66	7.32	7.01	6.72	6.44	6.19
2400	9.70	9.20	8.74	8.32	7.92	7.56	7.23	6.92	6.63	6.36	6.11
2500	9.58	9.09	8.63	8.21	7.82	7.47	7.13	6.83	6.54	6.28	6.03
2600	9.46	8.97	8.52	8.11	7.72	7.37	7.04	6.74	6.46	6.20	5.95
2700	9.34	8.86	8.42	8.00	7.63	7.28	6.95	6.66	6.38	6.12	5.88
2800	9.23	8.75	8.31	7.90	7.53	7.18	6.87	6.57	6.30	6.04	5.80
2900	9.11	8.64	8.20	7.80	7.43	7.09	6.78	6.49	6.22	5.96	5.72
3000	9.00	8.53	8.10	7.71	7.34	7.00	6.69	6.40	6.14	5.89	5.65
3100	8.88	8.42	8.00	7.61	7.25	6.91	6.61	6.32	6.06	5.81	5.58
3200	8.76	8.31	7.90	7.51	7.16	6.82	6.53	6.24	5.98	5.73	5.51

**ANEXO E: METODOLOGIA APLICADA EN LABORATORIO**

PARAMETRO	TECNICA	REFERENCIA
Color Real	Método Espectrofotométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2120 C.
Turbiedad	Método Nefelométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2130 B.
Conductividad	Método de Laboratorio	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2510 B.
Sólidos Suspendidos Totales	Sólidos suspendidos totales desecados a 103°C – 105°C.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2540 D.
Sólidos Disueltos Totales	Sólidos disueltos desecados a 103°C – 105°C.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2540 B.
pH	Método Electrométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500 B.
Alcalinidad Total	Método volumétrico de titulación.	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2320 B.
Dureza Total	Método Titrimétrico de EDTA	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 2340 C.
Fosforo de Ortofosfatos Totales	Método del ácido ascórbico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500-P E.
Cloruros	Método Argentométrico	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 4500 B.
Nitrógeno de Nitratos	Método del Salisilato sódico	Análisis de las aguas. Aguas naturales, Aguas residuales, Agua de mar.- J. RODIER
Nitrógeno Amoniacal	Método de Destilación	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 4500 B.
Oxígeno Disuelto	a) Método Winkler (modificación de azida) b) Método del electrodo de membrana	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 4500 C. y Sección 4500 G
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Test de la DBO cinco días, por dilución	Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005. Sección 5210 B.
Coliformes Totales	Método de la estimación de la densidad bacteriana: a) Técnica de los tubos múltiples NMP b) Técnica por filtración de membrana UFC	a) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9221C b) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9222 B.
Coliformes Fecales (E. Coli)	Método de la estimación de la densidad bacteriana: a) Técnica de los tubos múltiples NMP b) Técnica por filtración de membrana UFC	a) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9221F b) Standard Métodos para Análisis de Aguas y Aguas Residuales, edición 21°, 2005 Sección 9222 D.

## ANEXO F: FOTOGRAFÍAS

### 1. PRIMER MONITOREO 16-03-2017

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



### 2. SEGUNDO MONITOREO 04-05-2017



ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



**3. TERCER MONITOREO 14-09-2017**

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



**4. CUARTO MONITOREO 27-09-2017**

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



**5. QUINTO MONITOREO 12-10-2017**

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



**6. SEXTO MONITOREO 26-10-2017**



ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



**7. SÉPTIMO MONITOREO 08-11-2017**

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



### 8. OCTAVO MONITOREO 23-11-2017

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)



### 9. NOVENO MONITOREO 06-12-2017

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)





**10. DECIMO MONITOREO 13-10-2017**

ESTACIÓN 1 (ANTES)



ESTACIÓN 2 (DESPUÉS)

