

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y
AMBIENTAL**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE VERTIMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA PAPELERA A UN TRAMO DEL RÍO
RIMAC”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RIVERA PUMA, YOSSELIN AMELIA

**Villa El Salvador
2017**

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mi padre Juan Rivera y a mi madre Amelia Puma que con sus sabios consejos y amor incondicional confiaron siempre en mis decisiones y guiaron en todo momento mi camino para convertirme en una buena profesional.

A mis hermanos Xiomara y Jhon que con su sonrisa iluminan mi camino y son un gran motivo para el alcance de mis metas.

A Raiser, mi mejor amigo y compañero al cual admiro por su actitud perseverante y emprendedora que conquista mi ser.

A todos mis familiares quienes siempre confiaron en mí, en especial a mi abuelita Antonia que con su alma bondadosa y amorosa me enseña a ser mejor persona cada día.

Yosselin Amelia Rivera Puma

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón al jefe de carrera y asesor MsC. Julio Cesar Bracho quien apoyo en la culminación de la presente investigación.

A mis profesores quienes compartieron sus experiencias y me apoyaron en mi formación profesional, especialmente al Ing. Castillo que con sus sabios consejos y amistad hicieron que logre alcanzar muchas metas en mi vida universitaria.

Al Lic. Daniel que siempre es una guía de profesionalismo y permitió que formáramos un grupo de trabajo unido del cual siempre tengo el más lindo recuerdo.

Y a todas las personas, amigos y compañeros de estudios que me apoyaron para la realización del presente proyecto.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| DEDICATORIA..... | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| ÍNDICE..... | iii |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE TABLAS | vii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática | 3 |
| 1.2. Justificación del proyecto | 5 |
| 1.3. Delimitación de la investigación | 7 |
| 1.3.1. Espacial..... | 7 |
| 1.3.2. Temporal | 8 |
| 1.4. Formulación del problema..... | 8 |
| 1.5. Objetivos | 8 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 8 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos | 9 |
| CAPITULO II. MARCO TEÓRICO..... | 10 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación | 10 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales | 11 |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales..... | 17 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.2. | Bases Teóricas | 19 |
| 2.2.1. | Contaminación a un cuerpo natural de agua..... | 19 |
| 2.2.2. | Movimiento de contaminantes en el medio acuático. | 20 |
| 2.2.3. | Reacciones de contaminantes en el medio acuático..... | 24 |
| 2.2.5. | Modelos de carga contaminante en ríos..... | 28 |
| 2.2.6. | Actividad de la Industria Papelera | 31 |
| 2.2.7. | Caso de estudio: Industria Papelera..... | 33 |
| 2.2.8. | Marco Legal sobre uso y vertimiento de aguas | 35 |
| 2.3. | Marco Conceptual..... | 37 |
| CAPITULO III. DESCRIPCIÓN DEL MODELO | | 43 |
| 3.1. | PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO | 43 |
| 3.1.1. | Identificación de los puntos de control..... | 43 |
| 3.1.2. | Caracterización del vertimiento de la papelera..... | 44 |
| 3.1.3. | Caracterización del cuerpo receptor..... | 46 |
| 3.1.4. | Modelo matemático para cálculo de la Zona de Mezcla..... | 49 |
| 3.1.5. | Balance de masas | 51 |
| 3.2. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 54 |
| 3.2.1. | Descripción de los puntos de control..... | 54 |
| 3.2.2. | Análisis de las características del vertimiento de la papelera..... | 55 |
| 3.2.3. | Análisis del cuerpo receptor | 57 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.2.4. | Determinación de la Zona de Mezcla | 61 |
| 3.2.5. | Balance de masas | 62 |
| 3.3. | REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS | 69 |
| 3.3.1. | Comportamiento de las concentraciones de la DBO | 69 |
| 3.3.2. | Variación de concentración de DBO en función a la distancia | 70 |
| 3.3.3. | Impacto de vertimiento | 72 |
| | CONCLUSIONES | 77 |
| | RECOMENDACIONES | 79 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| | ANEXOS | 85 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del tramo del río en estudio..... | 7 |
| Figura 2. Curvas de evolución de distintos indicadores de contaminación | 20 |
| Figura 2. Cambio en la concentración debido al transporte advectivo | 21 |
| Figura 3. Diferencia entre advección y difusión..... | 22 |
| Figura 4. Contraste entre difusión y dispersión..... | 23 |
| Figura 6. Proceso de Autodepuración natural de un cuerpo de agua lóxico | 27 |
| Figura 7. Mezcla completa en un segmento del cuerpo lóxico | 28 |
| Figura 8. Comportamiento de un contaminante conservativo | 30 |
| Figura 9. Comportamiento de un contaminante no conservativo | 30 |
| Figura 10. Secuencia de procesos en la operación de fabricación de pasta | 33 |
| Figura 11. Determinación de W_{min} para la sección del río Rímac..... | 58 |
| Figura 12. Longitud de la zona de mezcla | 62 |
| Figura 13. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno | 70 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetros regulados para vertimiento de papeleras..... | 45 |
| Tabla 2. Ubicación y descripción de los puntos de control..... | 54 |
| Tabla 3. Caso 1- Concentración máxima de vertimiento..... | 55 |
| Tabla 4. Caso 2- Concentración máxima de vertimiento..... | 56 |
| Tabla 5. Caudal máximo de vertimiento..... | 56 |
| Tabla 6. Carga máxima de vertimiento al cuerpo receptor..... | 57 |
| Tabla 7. Características hidráulicas y morfológicas - Tramo Río Rímac..... | 60 |
| Tabla 8. Caudal máximo de dilución | 60 |
| Tabla 9. Concentraciones en el cuerpo natural en época de estiaje..... | 61 |
| Tabla 10. Caso 1 - Resultados del balance de masas | 63 |
| Tabla 11. Caso 2 - Resultados del balance de masas | 66 |
| Tabla 12. Concentración DBO en función a la distancia del vertimiento..... | 71 |
| Tabla 13. Carga máxima admisible en el cuerpo receptor, Caso 1 y Caso 2..... | 73 |
| Tabla 14. Carga máxima admisible para la Demanda Bioquímica de Oxígeno | 74 |
| Tabla 15. Caudal y concentración máximos admisibles para DBO..... | 75 |

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos naturales de agua (lóticos, lénticos y marino-costeros) brindan grandes beneficios al medio ambiente y a las actividades humanas; sin embargo, la incidencia del hombre y el uso descontrolado de los recursos hídricos por el sector industrial, trae consigo daños que en algunos casos son difíciles de reparar (Hoyos & Silva, 2013).

La industria de papel es una gran consumidora de agua y energía, además emplea productos químicos nocivos y contribuye significativamente a la contaminación del agua (Doldán & Amil, 2000). Estudios indican que las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) en agua residual sin tratamiento, pueden ser de 3 000 mg/L y 11 000 mg/L, respectivamente (Fresenius, 1991). Los vertimientos de la industria papelera en el Perú son regulados por el sector que establece los Límites máximos permisibles de efluentes para aguas superficiales (DS-003-2002-PRODUCE, 2012).

En el país la vigilancia de los recursos hídricos se basa en el control de la calidad del agua mediante redes de monitoreo, el establecimiento de estándares de calidad según la categoría del cuerpo natural de agua (Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA Clasificación de cuerpos de agua superficial y marino costeros) y el control de normas de emisión para el vertimiento de aguas residuales (Resolución

Jefatural N° 224-2013-ANA. Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas). (Autoridad Nacional del Agua, 2009).

Con el desarrollo de la presente investigación se evalúa el impacto de vertimiento generado por las aguas residuales de una industria papelera a un tramo del río Rímac; analizando el comportamiento de los parámetros críticos de vertimiento mediante el uso de modelos matemáticos (Método simplificado de la zona de mezcla y balance de masas), que representan, en forma simplificada la dilución de los contaminantes en el cuerpo natural de agua.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Actualmente el río Rímac es afectado por las diferentes actividades productivas desarrolladas desde la cabecera de cuenca hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, siendo las actividades más comunes la actividad minera, industrial, agrícola y poblacional, las cuales generan efluentes industriales y domésticos, residuos sólidos, entre otros (ANA, 2012).

Asimismo, se han realizado investigaciones en la cuenca del río Rímac con fines de control de calidad de agua del río (DIGESA, 2009); con fin de relacionar el grado de contaminación con las aguas marinas (IMARPE, 2000); con fines de prevención y evaluación de desastres naturales (Defensa Civil, 2012); con fines de controlar la calidad del agua y alcantarillado de Lima

y por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que desde su creación en el año 2008 y no hasta el año 2011 se encarga de la vigilancia de los Recursos Hídricos y monitoreo participativo de calidad de agua en la cuenca del río Rímac.

En la ciudad de Lima se concentra la mayor cantidad de industrias del país, la que en conjunto requieren grandes cantidades de agua para sus procesos productivos, siendo los rubros más importantes la producción de bebidas gaseosas, cerveza, vinos, etc. La demanda de agua para uso industrial es de 0,95 hm³/año y representa el 0,15% de la demanda total de la cuenca Rímac (Administración Local de Agua Chillón, Rimac, Lurín, 2010).

La ANA ha identificado 727 fuentes contaminantes en el ámbito de la cuenca del río Rímac, de los cuales 28 vertimientos de aguas residuales se identificaron en zona media del río Rímac; siendo 2 vertimientos de aguas residuales de procedencia Industrial (Autoridad Administrativa del Agua Cañete Fortaleza, 2016).

Las empresas papeleras utilizan en sus procesos productivos materias primas, como fibras de madera, papel reciclado, cargas, gomas, pegantes, colorantes, entre otros, en concentraciones elevadas que durante el proceso o al final de él producen las llamadas "aguas blancas"; (Quinchía, Restrepo, & Betancourt, 2005) generando en sus vertimientos residuos, lodos

compuestos básicamente por materiales celulósicos, arcillas, materiales húmicos, productos químicos de la coagulación y microorganismos. (Wang, Jao, Dempsey, & Cornwell, 1992). Razón por la cual las aguas residuales generadas por las actividades productivas de las papeleras, presentan alta carga orgánica y valores elevados de salinidad y de alcalinidad.

1.2. Justificación del proyecto

Según la evaluación efectuada por la Autoridad Nacional del Agua, la cuenca baja del río Rímac se ve afectada por diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales sobrepasan los estándares de calidad de agua (ECA) como se indica los informes de monitoreo participativos. (ANA, 2011-2014).

Como se precisa en la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA el río Rímac, es clasificado en la Categoría 1-A2 “Poblacional y Recreacional” – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, y aguas abajo desde La Atarjea hasta la desembocadura en el mar, se clasifican como Categoría 3: “Riego de vegetales y bebidas de animales”.

La industria papelera, por las características de sus procesos de producción requieren de un importante volumen de agua, que después de su

uso, son evacuados como efluentes líquidos industriales con alta carga orgánica (Corrochano, 2006).

Como parte de sus funciones la Autoridad Nacional del Agua está encargada de la autorización de vertimiento de aguas residuales de los administrados, sustentado en la Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA. Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reuso se aguas residuales tratadas. Ante este reglamento es necesario realizar el tratamiento adecuado a los efluentes generados por una industria.

Según Muñoz et al., (2014) considera que, para evaluar planes alternativos de ingeniería, para el control y manejo de la calidad del agua, pueden emplearse modelos matemáticos que relacionen la descarga de aguas residuales con la calidad de agua del cuerpo receptor (...). Los modelos también pueden ayudar a evaluar el mejoramiento de la calidad del agua mediante la eliminación de diferentes componentes de los contaminantes.

Ante la presente realidad, el estudio se fundamenta en la problemática de la alteración de la calidad de agua del río Rímac por vertimientos industriales de una papelera, dado que las aguas contaminadas representan un peligro para la salud de la población cercana que hace uso del recurso en sus actividades cotidianas con fines recreativos, agrícolas, ganaderos, entre

otros; además, de los “efectos nocivos en las formas de vida presente en estas corrientes, que rompe el equilibrio biológico y altera cada uno de los componentes del ciclo biodinámico” (Quispe, 2015).

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Espacial

El estudio ha sido desarrollado en un tramo del río Rímac el cual tiene una distancia aproximada de 250 metros, 25 metros aguas arriba y 200 metros aguas debajo de la desembocadura de los vertimientos de aguas residuales de la industria papelera, como se muestra en la Figura 1 delimitada con un polígono de coloración azul.



Figura 1. Ubicación del tramo del río en estudio.

Fuente: Google Earth, 2016.

1.3.2. Temporal

Se dispone de la información de los reportes de monitoreo trimestrales de una papelería otorgada a la Autoridad Nacional del Agua desde el año 2013 al año 2016.

1.4. Formulación del problema

Con el fin de evaluar el impacto de vertimiento de las aguas residuales de una industria papelería hacia un tramo del río Rímac y establecer medidas de control en el vertimiento, se planteó el empleo de modelos matemáticos que relacionen la descarga de aguas residuales, con la calidad de agua del cuerpo receptor; formulándose el siguiente problema ¿En qué medida el vertimiento de aguas residuales de una industria papelería influye/impacta en la calidad de agua de un tramo del río Rímac?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar el impacto de vertimiento de aguas residuales de una industria papelería a un tramo del río Rímac, analizando el comportamiento de las concentraciones de sus parámetros críticos.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la zona de mezcla del vertimiento, mediante la aplicación del modelo matemático propuesto en la metodología simplificada de la USEPA.
- Determinar la concentración final de los parámetros críticos aguas debajo de la zona de mezcla mediante la aplicación del balance de masas.
- Analizar el transporte y dilución de los parámetros críticos que presentan riesgo de incumpliendo del ECA-Agua en el límite de la zona de la mezcla del cuerpo receptor.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La autoridad Nacional del Agua efectuó evaluaciones de calidad de agua en la cuenca del río Rímac correspondiente a los años 2013 al 2016 de los cuales se obtuvo que el cuerpo natural en la cuenca de agua presenta concentraciones de coliformes termotolerantes y totales que superan los estándares de calidad y provienen de vertimientos domésticos. (ANA,2015).

En este contexto, en el año 2012 la autoridad firmó el memorándum de entendimiento con la Cooperación Coreana para la elaboración e implementación de un Plan Maestro para la Restauración del río Rímac, que entre sus propuestas menciona la construcción de una presa que garantice

el suministro confiable de agua durante la estación seca y garantizar la gestión eficiente del recurso hídrico.

Asimismo, se propuso que en forma progresiva la calidad de agua cumpla con los estándares de calidad ambiental para agua en la categoría 1-A2, la misma que en el debería alcanzar dicho nivel en el año 2024 (D. S. N° 022-2012-AG, 2012).

Para la presente investigación se considerarán como base del temario las siguientes investigaciones que describen el comportamiento de contaminantes mediante uso de modelos matemáticos en cuerpos de agua lóticos.:

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Guevara & Carrasco (2001) publicaron la investigación, *Modelación estocástica de DBO y OD. Caso de estudio río Cabriales*, la cual tuvo como principal objetivo modelar el comportamiento de la DBO y OD en el río utilizando métodos estocásticos permiten conocer la posible distribución de los contaminantes y el agotamiento a lo largo del tiempo.

Esta investigación realizó básicamente la comparación de modelos estocásticos, permitiendo obtener los valores de la DBO y OD después de una descarga en el río función del tiempo transcurrido y la longitud del cauce.

Ricaurte & Camacho (2005) realizaron la investigación: Desarrollo y Aplicación de un modelo agregado de calidad de agua en el tramo Girardot-Puerto Berrio del Río Magdalena cuyo estudio hace referencia al desarrollo de un modelo agregado de calidad de agua extendiendo el modelo QUASAR (Quality Simulation Along River Systems, Whitehead et al, 1997), para predecir incidentes de polución en ríos de planicie, este modelo describe en forma explícita los procesos advectivos y dispersivos que ocurren en zonas muertas o de almacenamiento de ríos caracterizando el transporte de la corriente

En relación a la investigación anterior, es preciso mencionar que el modelo de calidad de agua aplicado es útil para predecir impactos de contaminación, o para diseños de mecanismos de control y de plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

Por otro lado, Paredes (2004) realizó la investigación: *Integración de la modelación de la calidad de agua en un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de recursos hídricos* en la Universidad Politécnica de Valencia (España) como requisito para obtener grado de Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. El principal objetivo fue desarrollar una herramienta para la modelación de la calidad del agua a escala de cuenca,

donde dicha herramienta se considera como un Sistema de Soporte de Decisión (SSD): AQUATOOL.

La aplicación de la herramienta (Modulo Gescal) creada en la investigación se desarrolló en la Cuenca del Rio Jucar, en donde se analizó la calidad del agua de la cuenca mediante el estudio de los datos históricos de la red de calidad; además de la simulación de diferentes escenarios como de planificación, aspectos de infraestructura de depuración y de caudales de mejora ambiental.

Se obtuvo como conclusión que en la parte alta de la cuenca la capacidad de autodepuración del rio es suficiente para asimilar los vertidos, todo lo contrario, en la parte baja de la cuenca en donde los parámetros de calidad se ven afectadas por la presión de vertidos urbanos e industriales por tal motivo la autodepuración es menor.

De igual manera Polla, *et all* (2004) mediante la publicación en la revista Agrociencia presentaron la investigación: *Aplicación de un Modelo de Calidad de agua en un tramo del río Neuquén - Patagonia Argentina* en donde el objetivo del trabajo fue realizar un estudio de calidad de aguas en un tramo del río Neuquen (Patagonia Argentina), que se extiende desde el Dique Ballester al canal de los Milicios. Se aplicó un modelo matemático de

simulación unidimensional QUAL2E para la situación hidráulica de las aguas bajas y medias simulando componentes como OD y demanda bioquímica de oxígeno DBO (Brown y Barnwell, 1987).

De la investigación se concluyó que el modelo representa adecuadamente los procesos físicos- químicos y biológicos en el tramo del río considerado y que en las condiciones actuales los valores de OD y DBO se encuentran dentro de valores adecuados, por lo que no se observa contaminación en el río existiendo una autodepuración natural producto de las características hidráulicas del mismo.

En el año 2005, Dominguez *et al* (2005) Domínguez et al. realizaron el estudio: *Empleo del modelo Streeter y Phelps modificado para la planificación de estrategias de saneamiento del río Almendares*, este modelo unidimensional de estado permanente fue calibrado y validados por los autores, y divide en once segmentos al río Almendares, considerando constantes los parámetros morfológicos e hidrodinámicos valorándose la influencia en el OD de la DBO de las descargas puntuales y dispersas que el río recibe en la sección estudiada.

En la investigación se comprobó además que resulta imprescindible disminuir la carga de DBO₅ que se incorpora al río como fuentes dispersas y que la reaireación artificial puede ser una vía para mejorar los niveles de OD.

Montelongo, et al. (2007) desarrollaron la investigación : *Modelación de la Calidad del agua en el Río Tula, Estado de Hidalgo, México*, en donde se tomaron datos históricos de registros hidrométricos del periodo de 1993-2004 para modelar la calidad del Río Tula, dando como resultado general que la toxicidad en las descargas de aguas se encuentra en un rango de moderada a alta, determinándose la capacidad de asimilación y dilución para alcanzar las metas establecidas de recuperación gradual de la calidad de agua del Río Tula.

Por otro lado, Valcarcel et al. (2010) desarrollaron la investigación publicada en la revista Nucleus: *Modelación de la calidad de agua en el segmento medio del río Luyanó - Cuba*, en la cual se aplicó la metodología para la modelación de tres parámetros que caracterizan la calidad del agua: demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y amonio en un tramo del río Luyanó, empleando el software RIOSep v.2.0.

Como resultado se obtuvo un modelo que describe en más del 90% el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno y del oxígeno disuelto

y en más del 65% el comportamiento del amonio, por lo que caracteriza adecuadamente los procesos de autodepuración y el balance de oxígeno en las aguas del río.

El estudio realizado por Rodríguez (2013) titulado *Análisis de Contaminación y Modelamiento de O.D. y Materia Orgánica Rio Puyo* establece como objetivo evaluar la calidad del río con base en los parámetros mencionados y finalmente realizar un modelamiento de la variación de OD y DBO.

En el estudio se establecieron puntos de muestreo y afluentes, se determinó el caudal del río mediante la fórmula de Manning, y por último se aplicó el modelo de Streeter y Phelps. El estudio obtuvo como resultados que la modelación materia orgánica (DBO₅) en los 2 tramos del río presentaron características diferentes, mientras en el primero se encontró condiciones aceptables de biota acuática en la segunda las misma se encontraban notablemente afectadas, caso contrario en el modelamiento de O.D. en donde se muestra una tendencia bastante uniforme dentro de los niveles aceptables.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

De la revisión bibliográfica, en el país no se han desarrollado a gran escala estudios específicos de modelación de calidad de agua o comportamiento de contaminantes en cuerpos de agua lóticos.

No obstante, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, realizó la publicación de “Lineamientos para la determinación de Zona de Mezcla y la evaluación del impacto de vertimiento de aguas residuales a un cuerpo natural de agua”, la cual describe la metodología de cálculo para carga contaminante de vertimientos, cálculo de zona de mezcla y modelo de balance de masas, que permite describir el comportamiento de los contaminantes en los cuerpos de agua lóticos, lénticos y marinos costeros (R.J.541-2013-ANA, 2013).

Es así que, en el marco de cumplimiento de los límites máximos permisibles del efluente y estándares de calidad ambiental en el cuerpo receptor, y como requisito para que la autoridad apruebe la autorización de vertimiento a entidades privadas, se requiere dichos estudios que permitan determinar la influencia de los contaminantes según el tipo de industria y la magnitud del proyecto, con el fin de que la autoridad regule los efluentes que se vierten en los cuerpos naturales de agua (D.S.N° 015-2015-MINAN, 2015).

De los cuales se describen los siguientes estudios realizados a entidades privadas:

En el año 2015, se realizó el estudio de efecto de vertimiento a las aguas residuales industriales para la Compañía Minera el Brocal en el cual se utilizó el balance de masas para un vertimiento proyectado, y se determinó que las concentraciones de los parámetros críticos proyectados para la minera cumplen con los ECA-Agua Categoría 3 en la quebrada Andacancha luego de la zona de mezcla. (El BROCAL, 2015).

Por otro lado, la empresa Gloria S.A. para la renovación de su autorización de vertimiento, realizó la evaluación ambiental del efecto de vertimiento en el río Mashcon en Cajamarca, donde se obtuvo que el río se muestra afectado antes del ingreso del efluente tratado de la Planta Cajamarca por las altas concentraciones de los parámetros Coliformes Totales y Termotolerantes, las cuales superan los valores límite para ECA-Agua Categoría 3, por lo que en la evaluación de balance de masas estos dos parámetros sobrepasan los estándares al límite de la zona de mezcla.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Contaminación a un Cuerpo Natural de Agua

A. Vertido Puntual a un Río

El agua residual es portadora de materia orgánica, inorgánica y microorganismos. A estos contaminantes, una vez vertidos al curso de agua, pueden verse sometidos a los siguientes fenómenos físicos (Suárez, 2008).

- Parte de los elementos pasan a depositarse en el fondo como consecuencia de su diferencia de densidad con el agua, no pudiendo ser arrastrados por la corriente. Son sólidos decantables. Pueden ser productos orgánicos o inorgánicos.
- Otros, orgánicos e inorgánicos, debido a la corriente y a su densidad similar a la del agua, permanecen en suspensión en la masa del agua.
- Hay elementos que llegan a la superficie y se concentran en ella al cabo de un cierto tiempo (como las grasas, detergentes y flotantes) debido a su baja densidad.

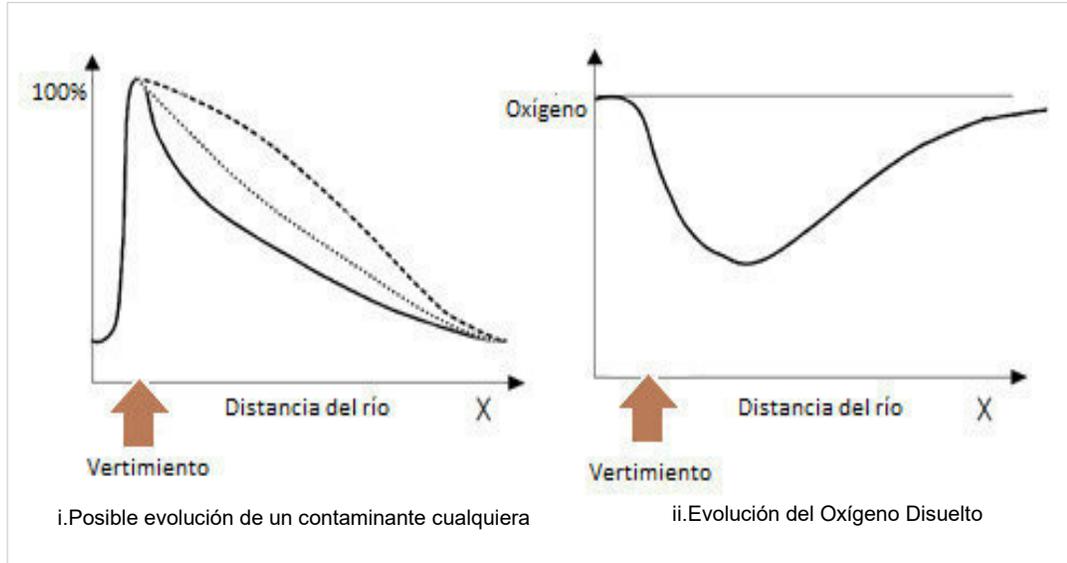


Figura 2. Curvas de evolución de distintos indicadores de contaminación (Suárez, 2008).

2.2.2. Movimiento de contaminantes en el medio acuático.

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

A. Advección

Es el mecanismo mediante el cual una sustancia contaminante pasa, se mueve o se transporta de un sitio a otro en un cuerpo de agua debido a la fuerza o impulso del caudal. Es importante anotar que, en este tipo de movimientos, la concentración de la sustancia cambia, pero no su composición química.

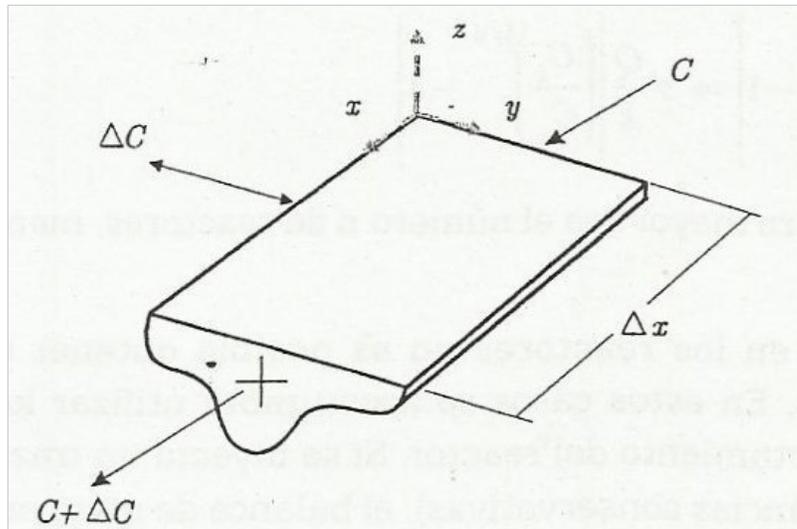


Figura 3. Cambio en la concentración de una sustancia debido al transporte advectivo (Sierra, 2011).

Como se muestra en la Figura 2, la advección mueve la masa de un sitio a otro en el espacio. Ejemplos de este tipo de movimiento son la salida del agua en un embalse por el vertedero de reboso o el movimiento del agua de un río cuando simplemente corre aguas abajo por efecto de la gravedad. (Sierra, 2011).

Para la Figura 2, son válidas las siguientes definiciones:

ΔC : Incremento de concentración en la longitud Δx .

Δx : Longitud del volumen de control.

$C + \Delta C$: Concentración a la salida del volumen de control.

C : Concentración del contaminante a la entrada al volumen de control.

B. Difusión

La difusión se refiere al traslado de masa de un lugar a otro, debido al movimiento al azar en el tiempo que tienen las moléculas de agua o también conocido como movimiento Browniano (Chapra, 1997). La Figura 3 muestra la diferencia entre los términos advección y difusión.

En la figura mencionada se comprueba el hecho de que la advección transporta la sustancia química de un lugar a otro sin cambiarle su identidad mientras que en la difusión la masa se va diluyendo en el tiempo con un movimiento despreciable de su centro de masa. En ambos casos, la sustancia al moverse cambia su concentración, pero no su composición química. (Sierra, 2011)

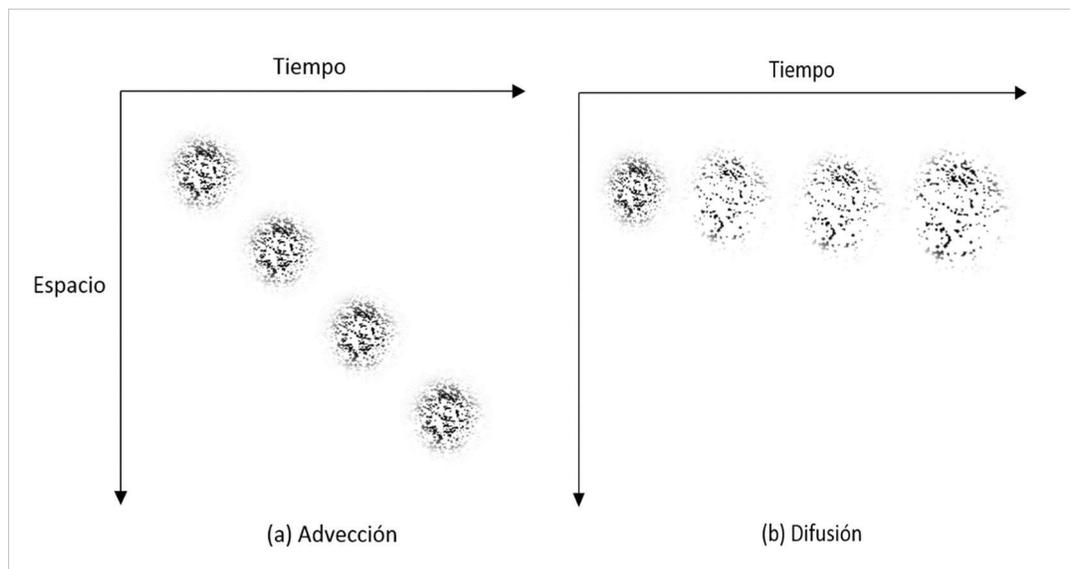


Figura 4. Diferencia entre advección y difusión (Sierra, 2011).

C. Dispersión

El contaminante se esparce o dispersa debido a que existen diferencias de velocidad entre dos sitios en el agua. Cuando se presentan estas diferencias el contaminante se mueve en el espacio (Chapra, 1997).

Gráficamente se puede ver la diferencia entre difusión y dispersión. Por ejemplo, si se introduce un colorante en el agua fluyendo en una tubería (Fig. 4), el movimiento propio que tienen las moléculas hará que el colorante mueva como lo muestra la Figura 3(a). Por el contrario, la dispersión hará que una molécula del tinte localizada cerca de la pared del tubo se mueva a menor velocidad que una molécula cerca del centro debido al gradiente de velocidad. En la figura 3 (b) se observa la distribución de la velocidad; se nota que en pared del tubo es cero mientras que en el centro es máxima.

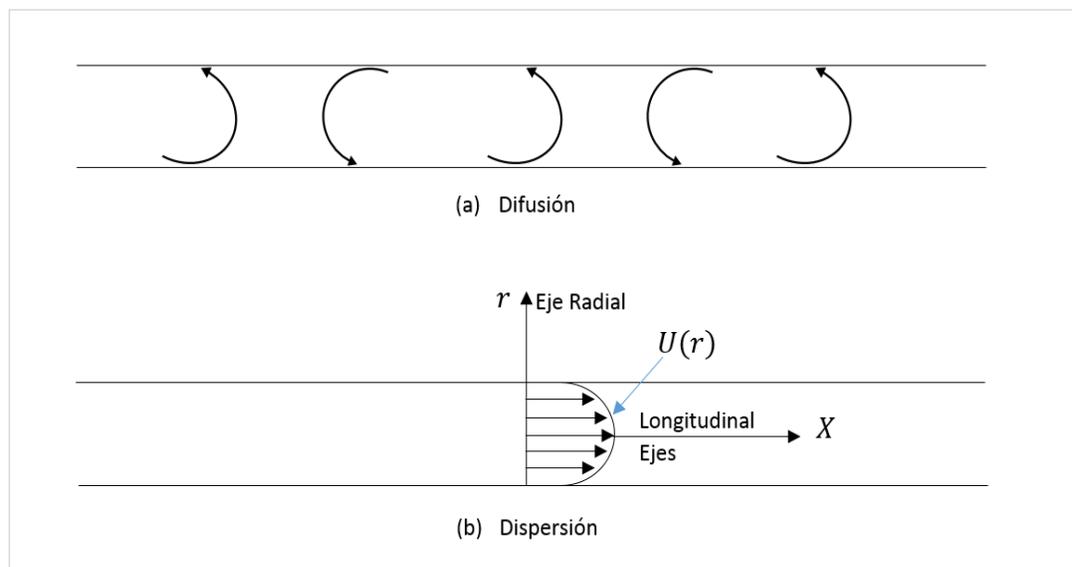


Figura 5. Contraste entre difusión y dispersión (Sierra, 2011).

2.2.3. Reacciones de contaminantes en el medio acuático.

El cambio en la concentración de un contaminante por reacción se debe transformaciones químicas, físicas o biológicas que sufre la sustancia en medio acuático. La DBO es un caso típico de descomposición por acción bacterial, siendo la velocidad de descomposición representada por una reacción de primer orden (Sierra, 2011).

Por el contrario, en el caso de los sólidos disueltos se puede suponer que están constituidos principalmente de sales disueltas, son conservativos, y cambios están gobernados por una reacción química de orden cero (Chapra, 1997)

Cuando ocurre una reacción química en el agua, al contrario de lo que pasa en los mecanismos de transporte (advección y/o dispersión/difusión), contaminantes cambian su composición química. Es así como por ejemplo el nitrógeno orgánico se convierte en nitratos (Sierra, 2011).

2.2.4. Autodepuración del cuerpo de agua natural lótico

Según Suárez (2008) pueden establecer cuatro zonas de influencia de un vertido:

A. Zona de degradación

Es la zona inmediata a la incorporación de las aguas contaminadas al río. Es el área con mayores concentraciones de contaminantes. Desaparecen peces y algas; en el fango aparecen gusanos tubíficos, hongos y protozoos ciliados. Es posible la existencia de peces que necesitan poco oxígeno y se alimentan de materia orgánica (Thomann, 1987).

B. Zona de Descomposición activa

El oxígeno desciende a los niveles mínimos, pudiendo llegar a cero. No viven peces, y los organismos encargados de la descomposición orgánica trabajan activamente. Se pueden desprender gases (metano, hidrógeno, nitrógeno, ácido sulfhídrico y otros de mal olor, etc.). Pueden aparecer espumas en la superficie (Thomann, 1987).

C. Zona de Recuperación

Aumento del oxígeno, agua más clara, reaparición de la vida acuática macroscópica, disminución de hongos y aparición de algas. Es posible encontrar nitratos, sulfatos, fosfatos y carbonatos. Aparecen peces resistentes (Thomann, 1987).

D. Zona de agua limpia

Condiciones de corriente natural. El oxígeno disuelto está cerca de la saturación. Peces útiles para la pesca. Pueden quedar bacterias patógenas resistentes y compuestos metálicos no alterados por los procesos bioquímicos existentes (Thomann, 1987).

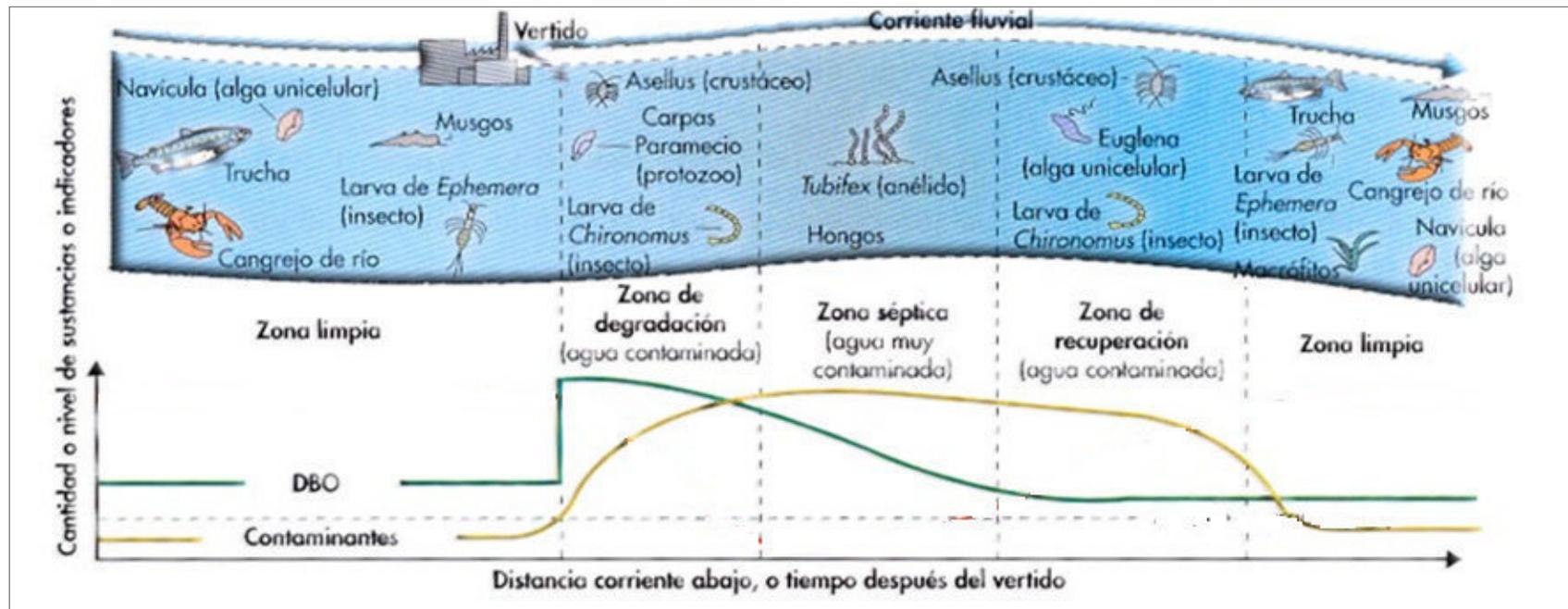


Figura 6. Proceso de Autodepuración natural de un cuerpo de agua lótico

2.2.5. Modelos de carga contaminante en ríos

Según indica Holzner (2012) “el comportamiento de la concentración de un contaminante que llega a un río a través de un vertimiento puntal, es caracterizado por dos procesos fundamentalmente diferentes”:

- i. Inmediatamente luego del vertimiento empieza la mezcla inicial con el agua natural. El proceso de mezcla es un proceso principalmente físico de dispersión y su velocidad depende de las condiciones hidrodinámicas del río. El proceso de mezcla termina cuando en todos los puntos de la sección transversal del río existen las mismas concentraciones. En este punto se habla de mezcla completa (Holzner, 2012).

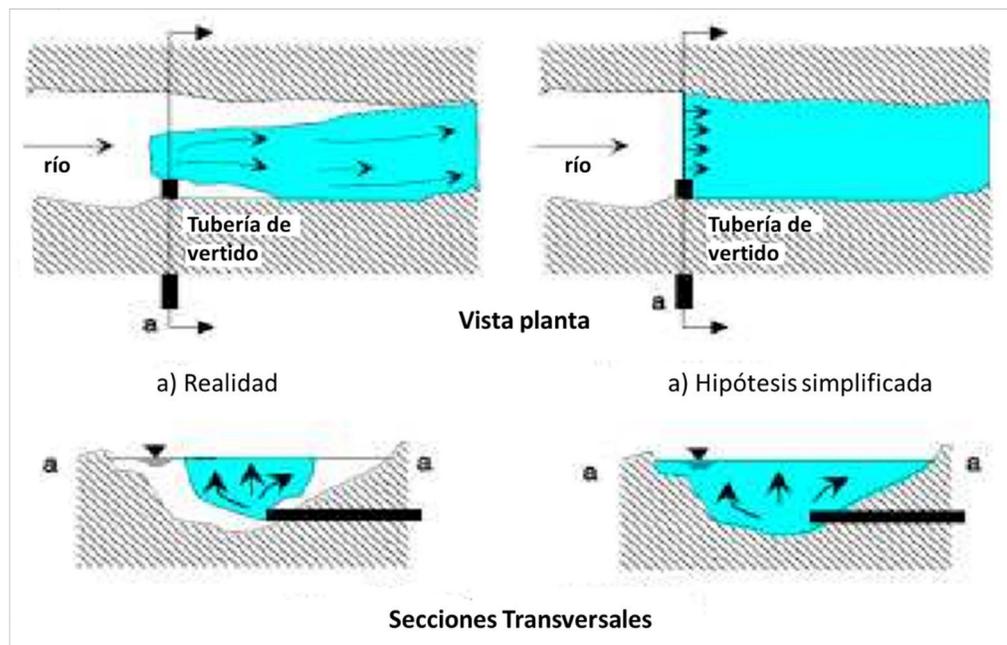


Figura 7. Mezcla completa en un segmento del cuerpo lótico (Suárez, 2008).

- ii. El otro proceso que caracteriza el comportamiento de contaminantes en un río es el conjunto de procesos químicos, físicos y microbiológicos que cambian la carga contaminante transportada por el río. Estos procesos, comúnmente denominados con el término de autodepuración, abarcan la sedimentación, la hidrólisis, la oxidación, la reducción química, la muerte de patógenos, la nitrificación, la adsorción, la asimilación y otros (Holzner, 2012).

La evolución de los contaminantes a partir del punto de vertido varía en función de sus propias características y de la capacidad de asimilación del medio, donde se tiene dos tipos de contaminantes:

A. Contaminantes conservativos

La concentración de un contaminante conservativo permanece constante si no hay afluentes naturales, que disminuyen la concentración debido a la dilución adicional, o no hay otros aportes de carga, que aumentan la concentración. Forman parte de este grupo la mayoría de las sales, metales en concentraciones bajas y en condiciones de pH neutro, entre otros (Holzner, 2012).

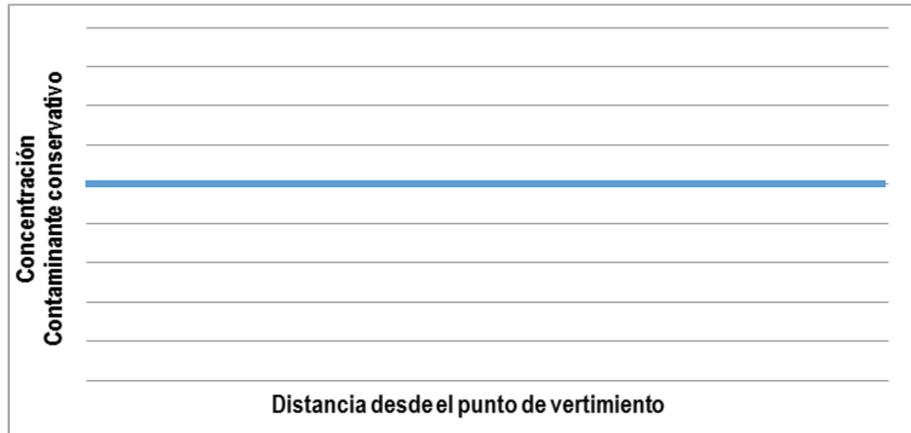


Figura 8. Comportamiento de un contaminante conservativo

B. Contaminantes no conservativos

La concentración de un contaminante no conservativo disminuye en forma exponencial, no son afectados por los procesos biológicos en los ríos. Forman parte de este grupo los metales que tienen una solubilidad variable en dependencia de la disponibilidad de oxígeno disuelto y del pH, DBO, DQO, los compuestos orgánicos industriales y los pesticidas (Holzner, 2012).



Figura 9. Comportamiento de un contaminante no conservativo

Según el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM indica sobre la Implementación del ECA para Agua y la Zona de Mezcla:

Artículo.5: “En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, considerando como referente la categoría asignada para el cuerpo de agua”.

Los modelos de carga contaminante son el modelo apropiado para la evaluación del cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla.

Los efectos de la mezcla y de dilución de un contaminante vertido a un río son considerados en los modelos de carga contaminante, suponiendo mezcla completa en el punto de vertido. Las concentraciones de un contaminante en este punto se calculan con la ecuación de mezcla (Holzner, 2012).

2.2.6. Actividad de la Industria Papelera

La industria de la pulpa y papel procesa fibras de árboles, papel de desperdicio y otros materiales fibrosos en pulpa, papel y cartón que se convierte luego en una gran variedad de productos finales, que van desde el

cartón de grado de construcción a papel de escritura fino. La industria incluye tanto un sector primario (molinos de pulpa, molinos de papel y molinos de cartón) y el sector de conversión (Campos, 2007).

Las fábricas de papel consumen grandes cantidades de agua. Una fábrica de blanqueo de pasta kraft con una producción de 1.000 toneladas al día consume más de 150 millones de litros de agua al día; una fábrica de papel puede llegar a superar esos niveles de consumo de agua (Teschke, 2000).

A. Generación de Efluentes

El agua residual contaminada de las fábricas de pasta y de papel puede causar la muerte de organismos acuáticos, permite la bioacumulación de compuestos tóxicos en los peces y afecta al sabor del agua potable corriente abajo. Los vertidos de las aguas residuales de pasta y papel se caracterizan, según criterios físicos, químicos o biológicos, por ser los más importantes en contenido en sólidos, demanda de oxígeno y toxicidad (Teschke, 2000).

Los derivados de la madera disueltos en los licores de la preparación de la pasta, como oligosacáridos, azúcares simples, derivados de la lignina de bajo peso molecular, ácido acético y fibras de celulosa solubilizadas, son

los principales contribuyentes tanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como a la demanda de oxígeno químico (DQO) (Teschke, 2000).

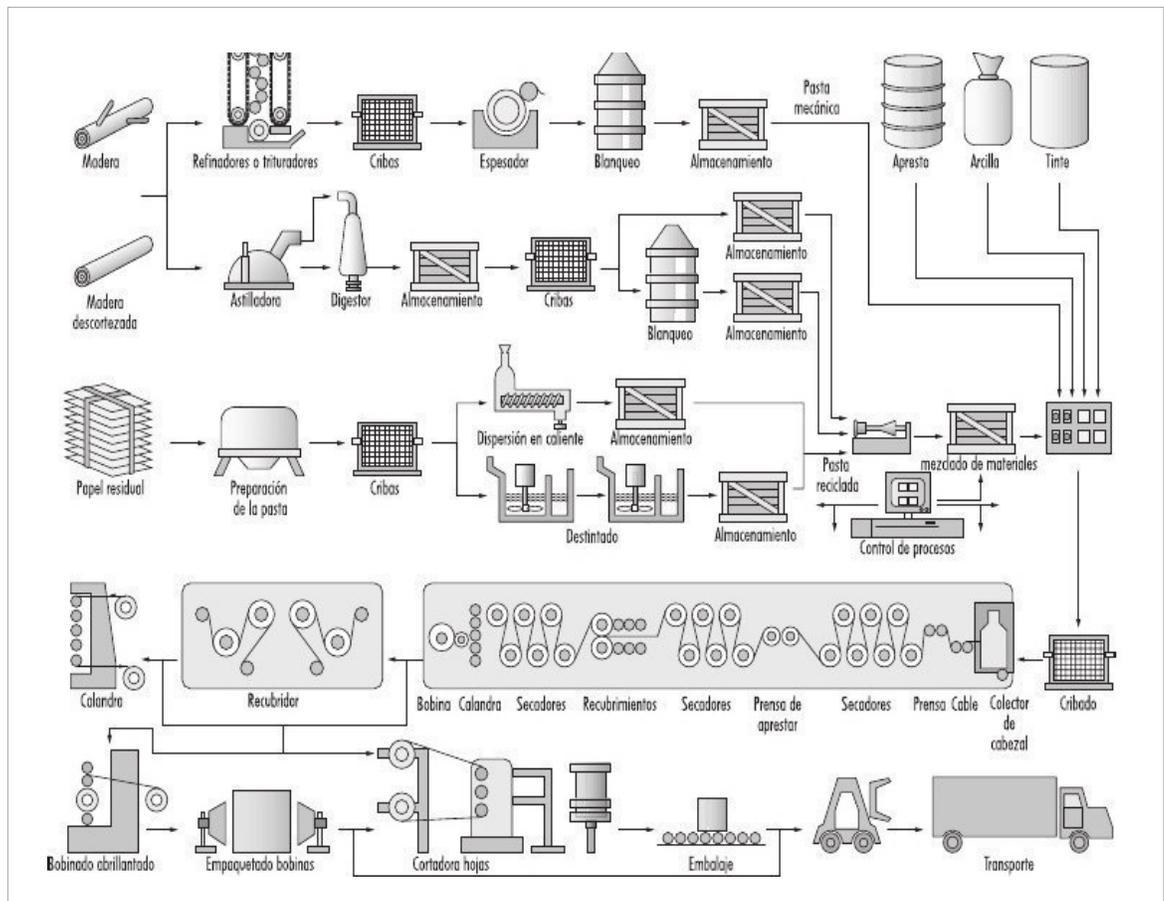


Figura 10. Secuencia de procesos en la operación de fabricación de pasta y papel (Wueidermuller, 1946)

2.2.7. Caso de estudio: Industria Papelera

La planta de Industria papelera se encuentra ubicada a la altura del Km. 15.5 de la Av. Carretera Central, distrito de Chaclacayo, en el departamento de Lima y a una altitud de 647 msnm. La morfología se caracteriza por una topografía abrupta, con alineamiento de una cadena de

cerros continuos que van incrementando progresivamente su altitud y relieve, limitando las cuencas de los valles del río Santa Eulalia y Rímac.

A. Consumo de Agua

La planta se abastece de agua de pozo subterráneo controlado por Sedapal, con un consumo aprox. de 800 m³ para su proceso industrial y para el consumo doméstico se utiliza agua potable. (DAP, 2003).

B. Descripción de Operaciones

La planta se dedica a la fabricación de papel generando los siguientes productos: papeles y papel de cartón (Color marrón), utilizando para ello el 100% de material reciclado como materia prima. Realizándose las siguientes operaciones:

- Molienda.- Mediante el Hiperpulper se realiza la disgregación del material.
- Depuración.- Eliminación de impurezas como arena, partículas metálicas, etc.
- Refinación.- Preparación de la pasta para corte de fibras y fibrilación.
- Formación de la Hoja
- Prensado.- Realizado por cilindros metálicos que rotan entre si
- Secado.- A través de cilindros secadores en los que se inyecta vapor.
- Calandreado.- Paso del papel por uno o varios rollos de metal.

- Bobinado y Rebobinado. - Realización del corte correspondientes para comercialización.

C. Efluentes del Proceso

La Planta de IPSA emite su efluente final del proceso al Río Rímac. Este efluente por las características del tipo de industria presenta elevadas concentraciones de SST, DB0₅ y DQO (DAP, 2003).

El caudal promedio del efluente final del proceso industrial de IPSA es de 6.83 l/s, el cual demuestra que el 74 % del volumen utilizado (800 m³/día) es descargado al río Rímac (DAP- Industrias del Papel S.A., 2003).

2.2.8. Marco Legal sobre uso y vertimiento de aguas

El marco legal que sustenta el estudio es el siguiente:

A. Constitución Política del Perú (1993)

Establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; que, el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Establece en el Artículo I de su Título Preliminar, que *es obligación de toda la conservación del ambiente y, en particular del Estado, la prevención y control de la contaminación ambiental.* (Constitución Política del Perú, 1993).

B. Normas Sectoriales que controlan criterios de calidad de agua

- Ley 29338-Ley de Recursos Hídricos

Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable (Artículo I, 2010).

- Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE

Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel, indica los LMP para la industria del papel, referente a los efluentes vertidos en cuerpos naturales de agua (D.S.003-2002-PRODUCE).

- Decreto Supremo N° 015-2015- MINAM

Estándares de Calidad de Ambiental para Agua, en donde se muestran las concentraciones límites para no perjuicio de cuerpos naturales de agua (D.S.015-2015-MINAM,2015).

- Resolución Jefatural N° 291-2009-ANA

Procedimiento para la Autorizaciones Vertimiento y Reúso de aguas residuales tratadas ante la autoridad competente Autoridad Nacional del Agua (R.J. 291-2009-ANA).

2.3. Marco Conceptual

Aguas residuales: Aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, que tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieran de un tratamiento previo. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

Aceites y Grasas: El conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, que incluye esterres de ácidos grasos de cadena larga. (Romero, 2009)

Caudal: Es la cantidad de agua que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo. (ANA, 2012)

Cuenca hidrográfica: Porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural. (ANA, 2012)

Cuerpo de agua: Extensión de agua, tal como un río, lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra. Algunos cuerpos de agua son artificiales, como los embalses, aunque la mayoría son naturales. Pueden contener agua salada o dulce. (MINAM, 2015)

Cuerpo de agua natural lóxico: Son cuerpos de aguas continentales caracterizados por corrientes unidireccionales continuas, cuales ríos, quebradas, entre otros. (ANA, 2012)

DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C). (Chapra, 1997)

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Corresponde a la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura. (Romero, 2009)

Época de estiaje: Mes del año en el cual el caudal mensual promedio llega a su mínimo. (SENAMHI, 2015)

Estación Hidrométrica: Estación en la cual se obtienen datos sobre el agua de ríos, lagos y embalses, referidos a uno o más de los elementos siguientes: nivel, transporte y depósito de los sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades físicas y químicas del agua, características de la capa de hielo. (SENAMHI, 2015)

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: Es el nivel de concentración máximo de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en los recursos hídricos superficiales; que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Los estándares aprobados son

aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. (MINAM, 2015)

Estocástico: Un proceso estocástico es aquel cuyo comportamiento es no determinista, en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios. (Nelson, 1976)

Fiscalización: Facultad de investigar la comisión de posibles infracciones administrativas sancionables y, si fuera el caso, imponer sanciones por el incumplimiento de obligaciones derivadas de los instrumentos de gestión ambiental, así como de las normas ambientales como son los Límites Máximos Permisibles y/o Estándar de Calidad Ambiental (ECA). (OEFA, 2015)

Hidrodinámica: Movimiento de agua natural o de una pluma de aguas residuales, es la dinámica del agua, en la que se considera la velocidad, presión, flujo y gasto del fluido. (ANA, 2012)

Límite Máximo Permisible (LMP): Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que corresponde a los niveles de tratamiento de aguas residuales alcanzables con las mejores técnicas disponibles y técnica y económicamente viables. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente

y su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. (OEFA, 2015)

Modelo Matemático: es una representación del medio ambiente utilizada para simular las condiciones ambientales y su respuesta ante estímulos o impactos determinados. Una vez que el modelo ha sido seleccionado o construido pueden ser evaluados los efectos de la acción propuesta y sus alternativas. (Castillo, 2005)

Muestra de agua: Porción representativa del efluente o cuerpo hídrico receptor que es colectada a fin de conocer sus características físicas, químicas y biológicas. (ANA, 2006)

Muestra simple o puntual: Es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno en el agua que depende de la temperatura y la presión atmosférica, condicionante para el desarrollo de la vida acuática (Holzner, 2012).

Parámetros de calidad: Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad de agua (ANA, 2013).

Parámetros críticos de vertimiento: Parámetros para los cuales el sector correspondiente haya definido un Límite Máximo Permisible y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación. (ANA, 2013)

Planta de tratamiento de aguas residuales: Infraestructura y procesos que permiten la reducción de las concentraciones de las sustancias y de las densidades de patógenos contenidos en las aguas residuales. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

Punto de control: Representa aquel lugar definido por sus coordenadas geográficas y establecido y en un cuerpo de agua o en un vertimiento de aguas residuales para llevar a cabo la evaluación de su calidad y cantidad, como parte de las actividades de fiscalización de vertimientos y/o reusos de aguas residuales. (R.J.N° 010-2016-ANA, 2006)

Tratamiento secundario: Tipo de tratamiento que reduce las demandas biológicas de oxígeno mediante la descomposición de los contaminantes orgánicos. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias oxiden la materia orgánica que llevan las aguas. El tratamiento secundario incluye también una etapa final de separación de los lodos mediante filtración, decantación o sedimentación (R.J.541-2013-ANA, 2013).

Zona de mezcla: Es aquel volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química. (R.J.541-2013-ANA, 2013)

Calidad de agua: Es un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000); cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso (SEMARNAT, 2005).

Carga contaminante: Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual. Comúnmente se expresa en T/año, T/día ó Kg/d (Chapra, 1997).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Corresponde a la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura (Romero, 2009).

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

3.1. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.1.1. Identificación de los puntos de control

En la primera visita técnica se realizará el recorrido de la zona de estudio en un tramo del río Rímac 25 metros aguas arriba y 200 metros aguas abajo del vertimiento, además de la identificación de los puntos de control en el cuerpo receptor lótico según los criterios indicados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y lo establecido en la Resolución Directoral de autorización de vertimiento de la industria papelera (R.J.010-2016-ANA, 2016).

3.1.2. Caracterización del vertimiento de la papelera

La recopilación de información se efectúa en base a que se dispone de la data que corresponde a calidad y cantidad indicada en los reportes de vertimiento trimestrales generados por una industria papelera y recolectados por la Autoridad Nacional del Agua correspondientes a los años del 2014 y 2016.

Según lo indicado en los lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y evaluación del impacto de un vertimiento de aguas a un cuerpo natural de agua (R.J.541-2013-ANA) la información que se requiere para la elaboración del modelo es la siguiente:

A. Selección de los parámetros críticos del vertimiento

Los parámetros a evaluarse en el presente estudio son aquellos asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad. Para el caso de efluentes de actividades de papeleras corresponden a los parámetros reglamentados en el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Límites permisibles y valores referenciales para las actividades de cemento, cerveza, curtiembre y papel, las cuales se presentan en la siguiente tabla;

Tabla 1. Parámetros regulados para vertimiento de papeleras

| Actividad productiva | Parámetros regulados |
|----------------------|-------------------------------|
| Industria del Papel | pH |
| | Temperatura |
| | Sólidos suspendidos totales |
| | Aceites y grasas |
| | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| | Demanda Química de Oxígeno |

Fuente: D.S. N° 003-2002-PRODUCE

B. Concentraciones máximas de vertimiento

En la investigación se estima las concentraciones máximas de vertimiento de los parámetros, para las condiciones más críticas de la papelería mediante lo reglamentados por el sector, razón por la cual la concentración crítica corresponde al Límite Máximo Permissible (D.S. N° 003-2002-PRODUCE).

C. Caudal máximo de Vertimiento

En la presente investigación el caudal máximo de vertimiento es considerado para la condición más crítica, por lo que se estima el caudal máximo horario de descarga a partir del proceso productivo de la industria papelería. Para el caso de estudio el agua es tratada en una planta de tratamiento de flujo continuo y descargada de forma constante al cuerpo receptor.

D. Carga máxima de un vertimiento

Para el cálculo de los parámetros críticos de las aguas residuales vertidas, se determina la carga máxima del vertimiento multiplicando la concentración crítica del contaminante por el caudal máximo del vertimiento.

$$C_{\text{max.vert}} = C_{\text{vert}} \cdot Q_{\text{vert}}$$

donde:

C_{vert} : es la concentración crítica del contaminante en las aguas residuales tratadas.

Q_{vert} : es el caudal máximo del vertimiento.

3.1.3. Caracterización del cuerpo receptor

La recopilación de la información se desarrolla en base a los informes de monitoreo participativos realizados por la Autoridad Nacional del Agua referente a los años 2013 y 2016; además, de la data ubicada en los reportes de monitoreo donde se registra información de la calidad del cuerpo natural de agua.

Según lo indicado en los lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y evaluación del impacto de un vertimiento de aguas a un cuerpo natural de agua (R.J.541-2013-ANA) la información requerida es la siguiente:

A. Características hidráulicas y morfológicas

La información correspondiente a los aspectos físicos de la cuenca del Río Rímac se recopila en base a los estudios e investigaciones realizadas por la Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín, y las visitas en campo al tramo del Río Rímac en estudio. De las cuales se requiere lo siguiente:

- Ancho promedio del cuerpo de agua.
- Profundidad media del río aguas abajo del vertimiento.
- Velocidad de flujo media.
- Caudal instantáneo.
- Factor de irregularidad del cauce.
- La pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento.

B. Caudal Disponible para Dilución ($Q_{RH,crit}$)

Para el presente estudio se determinará el caudal disponible de dilución o también llamado Caudal Critico de dilución mediante la siguiente metodología simplificada:

- i. Si dispone de una serie histórica del caudal del cuerpo receptor de por lo menos 5 años que es representativa para el cuerpo de agua en la ubicación del vertimiento, el caudal crítico de dilución ($Q_{RH,crit}$) será el

valor mínimo de los caudales mensuales promedios en los últimos 5 años.

- ii. Si no se dispone de una serie histórica del caudal, se efectúa una medición del caudal en el cuerpo de agua en la ubicación del vertimiento evaluado al final del mes con el promedio mínimo de precipitaciones mensuales (determinado en base al record histórico de la estación meteorológica más cercana).

El caudal medido (Q_x) se corrige según la siguiente fórmula:

$$Q_{RH,crit} = \frac{Q_x}{2}$$

Donde: 2 es el factor de seguridad, que considera la variabilidad multianual de los caudales en época de estiaje y la inseguridad de la información basada en una medición única.

En el caso que el cuerpo receptor es parte de un sistema hidrológico regulado, $Q_{RH,crit}$ debería ser determinado en base de una serie histórica de caudal, dado que el caudal no tiene necesariamente una correlación directa con las precipitaciones.

C. Concentración de parámetros críticos en el cuerpo natural de agua

En esta etapa se hará uso y selección de los reportes de monitoreo en los cuales se realizó la toma de muestras y análisis fisicoquímico de los parámetros críticos en el cuerpo receptor (desde el año 2014 hasta 2016), aguas arriba y aguas abajo del vertimiento, determinados según periodo más crítico, es decir el periodo de estiaje, especificado en los lineamientos establecidos en la R.J. N541-2013-ANA.

3.1.4. Modelo matemático para cálculo de Zona de Mezcla

El cálculo de la zona de mezcla de la presente investigación se realiza mediante modelo numérico sustentado en el método simplificado desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA), que para el caso de estudio será adoptado para un vertimiento en la orilla del río y se utiliza la siguiente ecuación (USEPA, 2006):

$$L_{ZdM} = \frac{(W_{min})^2 \cdot u}{f\pi D_y}$$

donde:

L_{ZdM} : es la longitud de la zona de mezcla, en metros.

W_{\min} : es el ancho promedio del cuerpo de agua en un tramo de 200 m aguas abajo del vertimiento en temporada de estiaje, en metros.

u : es la velocidad de flujo promedio del río en la ubicación del vertimiento en temporada de estiaje, en metros por segundo.

f : factor que considera la ubicación del vertimiento: $f=2$ para un vertimiento a la orilla; $f=8$ para un vertimiento en el centro del río

D_y : es el coeficiente de dispersión lateral aguas abajo del vertimiento en temporada de estiaje y se calcula con:

$$D_y = cdu^*$$

donde,

c : factor de irregularidad del cauce:

$c = 0,1$ para ríos rectos con cauce rectangular

$c = 0,3$ para ríos canalizados

$c = 0,6$ para cauces naturales con serpentear moderado

$c = 1,0$ para cauces naturales con serpentear significativo

$c > 1,0$ para ríos con cambios de dirección bruscos de 90° o mayor

d : profundidad promedio del río aguas abajo del vertimiento en temporada de estiaje, en metros.

u^* : es la velocidad de corte en metros por segundo, que se calcula con:

$$u^* = \sqrt{gds}$$

donde,

g : aceleración por gravedad = 9,80665 m * s²

s : pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento (m/m)

3.1.5. Balance de masas

En esta última etapa se realizará el cálculo de balance de masas para todos los parámetros críticos de las aguas residuales vertidas, de los cuales se determina sus concentraciones aguas debajo de la zona de mezcla, utilizando el siguiente modelo matemático establecido en los lineamientos de R.J.541-2013-ANA:

$$C_o = \frac{(C_{RH} * Q_{RH,crit}) + (C_{vert} * Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

donde:

C_o : es la concentración calculada en el límite de la zona de mezcla.

C_{RH} : es la concentración en el cuerpo receptor, determinada según ítem 3.1.3. -C

C_{vert} : es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas, determinada según ítem 3.1.2.-B

$Q_{RH,crit}$: es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado según ítem 3.1.3.-B

Q_{vert} : es el caudal máximo del vertimiento, determinado según ítem 3.1.2.-C

Dado que C_0 para la mayoría de parámetros a excepción de NH_4 , NO_3 y O_2 es la mayor concentración luego de la zona de mezcla, la evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua se reduce a:

$$C_0 \leq C_{ECA}$$

Para la evaluación de los parámetros contenidos potencialmente en el efluente, se elaborará un cuadro que contiene la lista completa de parámetros característicos de las aguas residuales, la concentración calculada para cada contaminante en el cuerpo receptor aguas abajo de la zona de mezcla (C_0) y el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua correspondiente.

Para determinar la **carga contaminante de vertimiento admisible** se puede usar la siguiente ecuación que integra la condición para el cumplimiento de los ECA con la ecuación de mezcla:

$$(C_{vert} * Q_{vert}) \leq Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH}) + Q_{VERT} * C_{ECA}$$

Si la carga contaminante de vertimiento supera la carga admisible del cuerpo receptor, esta deberá ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos, el caudal y las concentraciones;

- i. Para determinar el **caudal máximo admisible** manteniendo las concentraciones invariadas se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(C_{vert} - C_{ECA})}$$

- ii. En el caso que no es posible reducir el caudal del vertimiento, será necesario reducir las concentraciones de los contaminantes críticos en el agua residual. **La concentración máxima del contaminante** que permite el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(Q_{vert})} + C_{ECA}$$

En el caso de vertimientos a cuerpos de agua lóticos que en la época de estiaje no tienen caudal de agua natural, es decir ríos o quebradas

transitoriamente secos, la ecuación del balance de masas se reduce a lo siguiente:

$$C_0 = C_{\text{vert}}$$

Y la condición para el cumplimiento de los ECA-Agua:

$$C_{\text{vert}} \leq C_{\text{ECA}}$$

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1. Descripción de los puntos de control

Se describe la localización de los puntos de control para el estudio como se especifica en la siguiente tabla (Véase mapa en ANEXO1):

Tabla 2. Ubicación y descripción de los puntos de control

| PUNTOS DE CONTROL | DESCRIPCIÓN | UBICACIÓN DE COORDENADAS UTM (WGS84) | | |
|-------------------|--|--------------------------------------|-----------|---------|
| | | ZONA | NORTE | ESTE |
| M-2 | Río Rímac, 25 m aguas arriba del vertimiento | 18 | 8 673 969 | 300 940 |
| M-3 | Río Rímac, 100 m aguas abajo del vertimiento | 18 | 8 673 900 | 300 794 |
| M-4 | Río Rímac, 200 m aguas abajo del vertimiento | 18 | 8 673 805 | 300 546 |
| V-1 | Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas | 18 | 8 673 947 | 300 915 |

Elaboración propia

3.2.2. Análisis de las características del vertimiento de la papelera

A. Concentraciones máximas de vertimiento

En la investigación se considera las concentraciones máximas de vertimiento para ambos casos;

Caso 1: Tratándose de un vertimiento proyectado de una PTAR futura, donde concentraciones máximas corresponden a aquellas indicadas en los Límites Máximos Permisibles.

Tabla 3. Caso 1- Concentración máxima de vertimiento.

| Parámetros | Unidad | Límite Máximo Permisible |
|-----------------------------|----------|--------------------------|
| pH | Unid. pH | 6 - 9 |
| Temperatura | °C | <35 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 30 |
| Aceites y grasas | mg/L | 10 |
| DBO ₅ | mg/L | 30 |
| DQO | mg/L | 50 |

Fuente: Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2002-PRODUCE).

Caso 2: Tratándose de un vertimiento en curso donde la concentración máxima se manifiesta en el horario de mayor caudal de vertimiento.

Tabla 4. Caso 2- Concentración máxima de vertimiento.

| Parámetros | Unidad | Concentración Máxima de vertimiento |
|-----------------------------|----------|-------------------------------------|
| pH | Unid. pH | 7,74 |
| Temperatura | °C | 30,8 |
| Solidos suspendidos totales | mg/L | 67,4 |
| Aceites y grasas | mg/L | 0,9 |
| DBO ₅ | mg/L | 67,67 |
| DQO | mg/L | 370,7 |

Fuente: Reportes de vertimiento (ANA, 2016)

B. Caudal máximo de Vertimiento

Se emplea el caudal máximo de vertimiento en función a la data registrada en los reportes de vertimiento desde el año 2013 al 2016, el cual se indica a continuación:

Tabla 5. Caudal máximo de vertimiento

| Periodo mayo 2016 | | Puntos de Control |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| | | V-1 |
| Caudal | L/s | 6,8 |
| | m ³ /día | 525,312 |

Fuente: Reportes de vertimiento (ANA, 2016)

C. Carga máxima de un vertimiento

Se determina las cargas máximas para cada parámetro crítico en estudio, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 6. Carga máxima de vertimiento al cuerpo receptor

| Parámetros | Concentración vertimiento ($C_{\text{max.vert}}$) mg/L | Caudal de vertimiento (Q_{vert}) L/s | Kg/día |
|-----------------------------|--|---|--------|
| pH | 7,74 | 6,8 | - |
| Temperatura | 30,8 | 6,8 | - |
| Solidos suspendidos totales | 67,4 | 6,8 | 39.59 |
| Aceites y grasas | 0,9 | 6,8 | 0.52 |
| DBO ₅ | 67,67 | 6,8 | 39.75 |
| DQO | 370,7 | 6,8 | 217.79 |

Fuente: Reportes de vertimiento (ANA, 2016).
Elaboración propia

3.2.3. Análisis del cuerpo receptor

A. Características hidráulicas y morfológicas

Considerando el régimen multianual de las precipitaciones (Estación meteorológica Chosica) se puede precisar, que en el mes de agosto el cuerpo receptor presenta el caudal mínimo (Temporada de estiaje). Por lo tanto, la determinación de las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor se toman con respecto al mes de agosto, con los siguientes resultados:

- Ancho promedio del cuerpo de agua (W_{min})



Figura 11. Determinación de W_{\min} para la sección del río Rímac (Google Earth, 2016).

Como se muestra en la Figura 11, se ha considerado el valor promedio de las mediciones de anchos del río en 200 m aguas abajo del punto de vertimiento, tal como se establece en los lineamientos empleados (ANA,2013).

Para el cálculo se ha empleado la herramienta del google earth, en la cual se presentan imágenes históricas del lugar de estudio y ha sido considerado las correspondientes al mes de Agosto del 2016, periodo más crítico (Temporada de estiaje).

Siendo el resultado:

$$W_{\min} = 20,5 \text{ m}$$

- Profundidad media del río aguas abajo del vertimiento (d)
d=1,25 m
- Velocidad de flujo media (u)
u=0,7 m/s
- Caudal (Q)
Q = 12 830 L/s
- Factor de irregularidad del cauce (c)
c = 0,1 para ríos rectos con cauce rectangular
c = 0,3 para ríos canalizados
c = 0,6 para cauces naturales con serpentear moderado
c = 1,0 para cauces naturales con serpentear significativo
c > 1,0 para ríos con cambios de dirección bruscos de 90° o mayor
Para el caso del estudio c = 0,6
- La pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento (s)
La pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento fue determinada mediante GPS, calculando la diferencia de altitud del punto de vertimiento proyectado (647msnm) y de un punto ubicado 200 metros aguas abajo (639 msnm); la diferencia de altitud medida son 8 m. Con estos datos se calcula la pendiente del cauce con: $s = 8 / 200 = 0,04$

Tabla 7. Características hidráulicas y morfológicas - Tramo Río Rímac

| Características | Unidad | Resultado |
|-----------------|--------|-----------|
| W_{min} | metros | 20,5 |
| d | metros | 1,25 |
| Q_x | L/s | 12 830 |
| u | m/s | 0,7 |
| c | - | 0,6 |
| s | m/m | 0,04 |

Elaboración propia

B. Caudal Disponible para Dilución ($Q_{RH,crit}$)

Según la data histórica de los caudales medidos en el río Rímac en función a la estación hidrométrica de Chosica, registrados en el ANEXO 4; el caudal mínimo en temporada de estiaje se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 8. Caudal máximo de dilución

| Periodo 2012 | | Puntos de Control |
|--------------|-----|-------------------|
| | | CUERPO RECEPTOR |
| Caudal | L/s | 12 830 |

Fuente: Senamhi, 2016.

C. Concentración de parámetros críticos en el cuerpo natural de agua

Se presenta los resultados de calidad de agua para los parámetros críticos tomados en el periodo de estiaje, aguas arriba del vertimiento:

Tabla 9. Concentraciones en el cuerpo natural en época de estiaje

| Parámetros | Unidad | C _{RH} | ECA Agua Categoría 1-A2 |
|-----------------------------|----------|-----------------|-------------------------|
| pH | Unid. pH | 7,73 | 5,5-9 |
| Temperatura | °C | 20,5 | - |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 20 | - |
| Aceites y grasas | mg/L | <0,5 | 1 |
| DBO ₅ | mg/L | 3,96 | 5 |
| DQO | mg/L | 14,95 | 20 |

Fuente: Reportes de vertimiento (ANA,2016).

3.2.4. Determinación de la Zona de Mezcla

Se determina la zona de mezcla con los datos adquiridos en el ítem

3.2.3-A.

$$Extensión L_{zdm} = \frac{(W_{min})^2 \cdot u}{f \pi D_y} = \frac{(W_{min})^2 \cdot u}{f \cdot \pi \cdot c \cdot d \sqrt{g \cdot d \cdot s}}$$

$$ExtensiónL_{zDM} = \frac{(20,5)^2 \cdot 0,7}{2 \cdot 3,1416 \cdot 0,6 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{9,80665 \cdot 1,25 \cdot 0,04}}$$

$$ExtensiónL_{zDM} = 90 \text{ m}$$



Figura 12. Longitud de la zona de mezcla
(Google Earth, 2016)

3.2.5. Balance de masas

Se realiza el cálculo de las concentraciones de los parámetros críticos en el límite de la zona de mezcla para ambos casos en estudio, como se muestran en la siguiente tabla:

CASO 1: Se presenta los siguientes cálculos para un vertimiento proyectado.

Tabla 10. Caso 1 - Resultados del balance de masas

| Parámetro | Unidad | C_{vert} | C_{RH} (AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO) | CC_{vert} (mg/s) | CC_{RH}^1 (AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO) (mg/s) | CC_{RH}^2 (AGUAS ABAJO DEL VERTIMIENTO) (mg/s) | C_0 (Limite de la zona de mezcla) | ECA – CAT. 1-2A* | |
|-------------------------------|--------|------------|--|-----------------------|---|--|--|------------------|---|
| Caudal crítico | L/s | 6,8 | 12 830 | - | - | - | - | NA | |
| pH | - | 9 | 7,73 | - | - | - | 7,730 | 6 | 9 |
| Temperatura | °C | 35 | 20,5 | - | - | - | 20,507 | NA | |
| Aceites y grasas | mg/L | 10 | 0,5 | 68 | 6415 | 6483 | 0,505 | 1,7 | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 30 | 4,99 | 204 | 64021,7 | 64225,7 | 5,003 | 5 | |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 50 | 14,95 | 340 | 191808,5 | 192148,5 | 14,968 | 20 | |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 30 | 20 | 204 | 256600 | 256804 | 20,005 | NA | |

Elaboración propia

Siendo:

(*) D.S. N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 1-A2: Aguas que pueden ser potabilizadas.

C_0 : Concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.

CC_{RH}^1 : Carga contaminante en el cuerpo receptor (agua arriba del vertimiento),

CC_{RH}^2 : Carga contaminante en el cuerpo receptor (agua abajo del vertimiento)

C_{vert} : Concentración de parámetros críticos de vertimiento

C_{RH} : Concentración de parámetros críticos en el cuerpo receptor

CC_{vert} : Carga contaminante del vertimiento

NA: No aplica

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 10 se presenta el balance de masa calculado, donde se demuestra que la mayoría de parámetros (pH, aceites y grasas y Demanda Química de Oxígeno) cumplirán los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla, siempre y cuando el efluente no sobrepase los límites máximos permisibles. Sin embargo, se evidencia un riesgo de incumplimiento del parámetro DBO₅ debido que la concentración en el límite de la zona de mezcla es ligeramente mayor al ECA-Agua.

Por tal motivo, se realiza el cálculo de la **carga contaminante máxima admisible** para la DBO₅ que integra la condición para el cumplimiento del ECA con el balance de masas:

$$\begin{aligned}(C_{vert} * Q_{vert}) &\leq Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH}) + Q_{VERT} * C_{ECA} \\ &\leq 12830 * (5 - 4.99) + 6,8 * 5 \leq 162,3 \text{ mg/s}\end{aligned}$$

Debido a que la carga contaminante del vertimiento para la DBO₅ (204 mg/s) supera la carga contaminante máxima admisible de DBO₅ en el cuerpo receptor (162,3 mg/s), se debe reducir el caudal máximo admisible o la concentración máxima admisible para disminuir la carga contaminante de DBO₅:

- A. Caudal máximo admisible, cuando no hay variación en las concentraciones de vertimiento:

$$Q_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(C_{vert} - C_{ECA})} \leq \frac{12830 * (5 - 4,99)}{(30 - 5)} \leq 5.132 \text{ L/s}$$

Indica que el caudal máximo admisible para que se cumpla con las concentraciones de DBO₅ en el límite de la zona de mezcla debe ser menor igual a 5,132 L/s.

- B. Concentración máximo admisible de DBO₅ en el efluente, cuando el caudal de vertimiento es invariado:

$$C_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(Q_{vert})} + C_{ECA} \leq \frac{12830 * (5 - 4,99)}{(6,8)} + 5$$

$$\leq 23,87 \text{ mg/L}$$

Indica que la concentración máxima admisible de DBO₅ en el efluente para que se cumpla con las concentraciones de DBO₅ en el límite de la zona de mezcla debe ser menor igual a 23,87 L/s.

CASO 2: Para un vertimiento en curso en el horario de mayor caudal de vertimiento.

Tabla 11. Caso 2 - Resultados del balance de masas

| Parámetro | Unidad | C_{vert} | C_{RH} (AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO) | CC_{vert} (mg/s) | CC_{RH}^1 (AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO) (mg/s) | CC_{RH}^2 (AGUAS ABAJO DEL VERTIMIENTO) (mg/s) | C_0 (Límite de la zona de mezcla) | ECA – CAT. 1-2A* | |
|-------------------------------|--------|------------|---|-----------------------|--|---|---|---------------------|---|
| Caudal crítico | L/s | 6,8 | 12 830 | - | - | - | - | NA | |
| pH | - | 7,74 | 7,73 | - | - | - | 7,730 | 6 | 9 |
| Temperatura | °C | 30,8 | 20,5 | - | - | - | 20,505 | NA | |
| Aceites y grasas | mg/L | 0,9 | 0,5 | 6.12 | 6415 | 6421,12 | 0,5002 | 1,7 | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 67,67 | 4,99 | 460.15 | 64022 | 64481,856 | 5,0232 | 5 | |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 370,7 | 14,95 | 2520.76 | 191809 | 194329,26 | 15,138 | 20 | |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 67,4 | 20 | 458.32 | 256600 | 257058,32 | 20,025 | NA | |

Elaboración propia

Siendo:

(*) D.S. N°015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 1-A2: Aguas que pueden ser potabilizadas.

C_0 : Concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.

CC_{RH}^1 : Carga contaminante en el cuerpo receptor (agua arriba del vertimiento),

CC_{RH}^2 : Carga contaminante en el cuerpo receptor (agua abajo del vertimiento)

C_{vert} : Concentración de parámetros críticos de vertimiento

C_{RH} : Concentración de parámetros críticos en el cuerpo receptor

CC_{vert} : Carga contaminante del vertimiento

NA: No aplica

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Del balance de masa calculado en la Tabla 11, se demuestra que la mayoría de parámetros (pH, aceites y grasas y Demanda Química de Oxígeno) cumplirán los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla. Sin embargo, se evidencia un riesgo de incumplimiento del parámetro DBO₅ debido que la concentración en el límite de la zona de mezcla es ligeramente mayor al ECA-Agua.

Por tal motivo, se realiza el cálculo de la **carga contaminante máxima admisible** para la DBO₅ que integra la condición para el cumplimiento del ECA con el balance de masas:

$$\begin{aligned}(C_{vert} * Q_{vert}) &\leq Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH}) + Q_{VERT} * C_{ECA} \\ &\leq 12830 * (5 - 4.99) + 6,8 * 5 \leq 162,3 \text{ mg/s}\end{aligned}$$

Debido a que la carga contaminante del vertimiento para la DBO₅ (460 mg/s) supera la carga contaminante máxima admisible de DBO₅ en el cuerpo receptor (162,3 mg/s), se debe el caudal máximo admisible o la concentración máxima admisible para reducir la carga contaminante de DBO₅:

- C. Caudal máximo admisible, cuando no hay variación en las concentraciones de vertimiento:

$$Q_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(C_{vert} - C_{ECA})} \leq \frac{12830 * (5 - 4,99)}{(67.67 - 5)} \leq 2.047 \text{ L/s}$$

Para este caso se verifica que el caudal máximo admisible para que se cumpla con las concentraciones de DBO₅ en el límite de la zona de mezcla debe ser menor igual a 2.047 L/s.

- D. Concentración máximo admisible de DBO₅ en el efluente, cuando el caudal de vertimiento es invariado:

$$C_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} * (C_{ECA} - C_{RH})}{(Q_{vert})} + C_{ECA} \leq \frac{12830 * (5 - 4,99)}{(6,8)} + 5$$

$$\leq 23,87 \text{ mg/L}$$

Para este caso se verifica que la concentración máxima admisible de DBO₅ en el efluente para que se cumpla con las concentraciones de DBO₅ en el límite de la zona de mezcla debe ser menor igual a 23.87 L/s.

3.3. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

3.3.1. Comportamiento de las concentraciones de la DBO

Luego que se inicia la mezcla del vertimiento con el cuerpo de agua, existe un segundo proceso que caracteriza el comportamiento de los parámetros en el cuerpo de agua. (Holzner, 2012).

Esta se describe a continuación para el parámetro DBO, debido su carga máxima admisible es menor a la carga del vertimiento calculados mediante el balance de masas calculado en las Tablas 10 y 11,

Por otro lado, el comportamiento de las concentraciones ha sido contrastado con de la data histórica del monitoreo realizados en los puntos de control del tramo en estudio (Véase ANEXO 4).

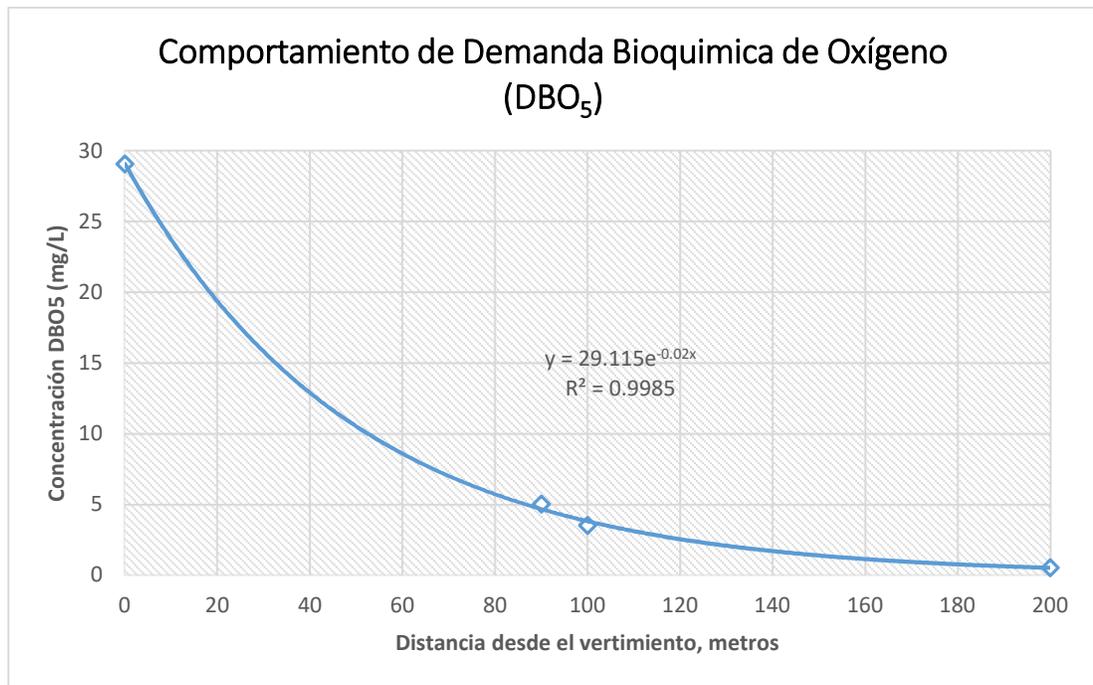


Figura 13. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

ANÁLISIS

Según se muestra en la Figura N el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno después del vertimiento presenta una tendencia exponencial que coincide con la bibliografía consultada, además presenta un coeficiente de determinación de 99%.

3.3.2. Variación de concentración de DBO en función a la distancia

En el análisis de la data histórica en el mes de estiaje (Agosto), se obtiene la siguiente ecuación exponencial presentada en la Figura 13 de la cual se realiza la interpolación de datos para la variable Y.

$$Y = 29.113e^{-0.02X}$$

Siendo:

Y= Concentración para la Demanda Bioquímica de
Oxígeno (mg/L)

X: Distancia desde el punto de vertimiento (metros)

Tabla 12. Concentración DBO en función a la distancia del vertimiento

| N° | Distancia desde el vertimiento (m) (X) | Concentración de DBO (mg/L) (Y) |
|----|--|---------------------------------|
| 1 | 0 | 29.113 |
| 2 | 10 | 23.8357084 |
| 3 | 20 | 19.5150275 |
| 4 | 30 | 15.9775532 |
| 5 | 40 | 13.0813141 |
| 6 | 50 | 10.7100742 |
| 7 | 60 | 8.76866709 |
| 8 | 70 | 7.17917741 |
| 9 | 80 | 5.87781333 |
| 10 | 90 | 4.81234653 |

Elaboración propia

Se puede observar la tendencia de la variación exponencial decreciente para la variable Y= concentraciones para la Demanda bioquímica de Oxígeno cada 10 metros de distancia del punto de

vertimiento, verificándose la dilución del contaminante hasta la distancia de la zona de mezcla (90 metros).

3.3.3. Impacto de vertimiento

Según lo indicado en la R.J. 541-2013- ANA la finalidad de la evaluación del impacto de un vertimiento en un cuerpo natural de agua es comprobar que la carga del vertimiento no supere la carga máxima admisible del cuerpo receptor, y según lo evaluado en el estudio se detalla lo siguiente:

- La longitud de la zona de mezcla inmediatamente después del vertimiento es 90 metros, aplicando la metodología simplificada de la EPA.
- Del balance de masas realizado para los parámetros críticos del vertimiento para ambos casos:

CASO 1: Para un vertimiento proyectado.

CASO 2: Para un vertimiento en curso, en el horario de mayor caudal de vertimiento.

Se obtiene que los de parámetros (pH, aceites y grasas y Demanda Química de Oxígeno) para ambos casos cumplirán los ECA-Agua en el

límite de la zona de mezcla, siempre y cuando el efluente no sobrepase los límites máximos permisibles.

Comprobándose que carga del vertimiento de cada parámetro evaluado que tiene valoración con el ECA-agua (Aceites y Grasas y Demanda química de Oxígeno), no supera la carga máxima admisible del cuerpo receptor aguas debajo de la zona de mezcla como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13. Carga máxima admisible en el cuerpo receptor, Caso 1 y Caso 2

| Caso | Parámetros crítico | Carga del vertimiento (mg/s) | Carga máxima admisible al cuerpo receptor (mg/s) |
|--------|----------------------------|------------------------------|--|
| Caso 1 | Aceites y grasas | 68,00 | 15407.56 |
| | Demanda Química de Oxígeno | 340,00 | 64927.50 |
| Caso 2 | Aceites y grasas | 6.12 | 15407.56 |
| | Demanda Química de Oxígeno | 12520.76 | 64927.50 |

Elaboración propia

Mientras que se evidencia un riesgo de incumplimiento del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno debido que la concentración en el límite de la zona de mezcla es ligeramente mayor al ECA-Agua.

En este sentido se verifica que, para este parámetro, la carga contaminante máxima admisible es mayor que la concentración del vertimiento:

Tabla 14. Carga máxima admisible para la Demanda bioquímica de Oxígeno

| Caso | Parámetros crítico | Carga del vertimiento (mg/s) | Carga máxima admisible al cuerpo receptor (mg/s) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| Caso 1 | Demanda Química de Oxígeno | 204,00 | 162,30 |
| Caso 2 | Demanda Química de Oxígeno | 460,00 | 162,30 |

Elaboración propia

Para reducir la carga contaminante de DBO se puede realizar las siguientes propuestas:

1. Reducción del Caudal de vertimiento al Caudal Máximo admisible de vertimiento o;
2. Reducción de las concentraciones de DBO en el tratamiento de efluente a la Concentración máximo admisible de DBO.

Las cuales se determinan en la siguiente tabla:

Tabla 15. Caudal y Concentración Máximos admisibles para DBO

| Máximos admisibles | Unidades | Caso 1 | Caso 2 |
|--|-----------------|---------------|---------------|
| Caudal máximo admisible | L/s | 5.132 | 2.047 |
| Concentración máximo admisible de DBO5 | mg/L | 23.87 | 23.87 |

Elaboración propia

Es así que se identifica que la mejor propuesta para la reducción de la carga contaminante de DBO es la reducción de Concentración de DBO en el vertimiento a la concentración máxima admisible ($\leq 23,87$ mg/L).

Por otra parte, se pudo comprobar que la dilución de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno para el cumplimiento del ECA al límite de la zona de mezcla, mediante el comportamiento de la data histórica en temporada de estiaje, la cual tiene un comportamiento exponencial decreciente como se identifica en la función evaluada y que coincide con la literatura revisada.

Finalmente se ha demostrado que el efluente proveniente de la industria papelera en estudio se mezcla con el agua natural del río Rímac y que en el proceso de dilución se reduce las concentraciones de todos los parámetros del vertimiento según su comportamiento, verificándose que el tramo del río Rímac debido a sus

características morfológicas e hidrodinámicas presentan un buen poder de dilución de la carga contaminante de estos parámetros.

CONCLUSIONES

- El impacto de vertimiento de los parámetros evaluados pH, Aceites y Grasas, DQO no constituye un riesgo para el incumplimiento del ECA aguas debajo en el límite la zona de mezcla, debido a que las concentraciones y cargas del vertimiento de cada parámetro son menores a la carga máxima admisible de los contaminantes en el cuerpo receptor.
- El impacto de vertimiento parámetro crítico DBO₅, en ambos casos;
Caso 1: para un vertimiento proyectado;
Caso 2: para un vertimiento en curso,
presenta un riesgo de incumplimiento del ECA- Agua debido la concentración en límite de la zona de mezcla es ligeramente mayor al ECA-Agua, presentando una carga de vertimiento de (17,63 Kg/ día) mientras que la carga máxima admisible para cumplir con el ECA-Agua en el cuerpo receptor es de (13,99 kg/día), concluyéndose que:
La propuesta adecuada para la reducción de la carga contaminante es la reducción de la concentración de DBO en el sistema de tratamiento de aguas residuales hasta el valor máximo admisible de DBO (23,87 mg/L), empleando un sistema de mayor eficiencia para el tratamiento Secundario (lodos activados) de la PTAR.
- La longitud de la zona de mezcla es de 90 m inmediatamente después de vertimiento mediante la aplicación del método simplificado de la USEPA.

- Se determinó el transporte y dilución para el parámetro crítico DBO, mediante ecuación de la tendencia exponencial, verificándose que las concentraciones de DBO se reducen a medida que aumenta la longitud del tramo del río Rímac.
- Se concluye, que los contaminantes provenientes del efluente de la industria papelera se diluyen en el tramo del río Rímac, de manera que se reducen las concentraciones de todos los parámetros en evaluación según su comportamiento en el medio acuático, verificándose que debido a sus características morfológicas (presencia de caudal representativo) e hidrodinámicas el tramo del río Rímac se presenta una capacidad de asimilación y dilución significativa para los parámetros pH, aceites y grasas y DBO.

RECOMENDACIONES

- Según lo evaluado en el balance de masas para la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el límite de la zona de mezcla, se verifica que existe un riesgo de incumplimiento al ECA- Agua, por lo que se propone la reducción de la carga contaminante de DBO mediante el mejoramiento del tratamiento secundario (lodos activados) de la planta de tratamiento para que se obtenga una mayor eficiencia en la remoción de la carga orgánica y se cumpla con la concentración DBO agua abajo de la zona de mezcla.
- Asimismo, se recomienda realizar un monitoreo de calidad de agua en el límite de la zona de mezcla calculada (90 metros) en temporada de estiaje a fin de verificar y comprobar que las concentraciones de los parámetros críticos cumplen con el estándar de calidad de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Administración Local de Agua Chillón, Rimac, Lurín. (Diciembre de 2010). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rimac*. Estudio Hidrológico y ubicación de la red de Estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rimac. Lima, Lima, Perú.
- Aguirre, C. (2009). *Simulación numérica de la hidrodinámica del Lago Titicaca, frente a las costas de la ciudad de Puno en el Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas. Lima, Perú.
- Autoridad Administrativa del Agua Cañete Fortaleza. (2016). *Informe técnico de los resultados de la identificación de fuentes contaminantes participativo en la cuenca del río Rimac -2015*. Informe Técnico N° 010-ANA-A.A.A.CF/SDGCRH/FLMS. Lima, Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2006). R.J.N° 010-2016-ANA. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2009). Ley N°29338: Ley de los recursos hídricos. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). R.J.541-2013-ANA. *Lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del Impacto de un vertimiento de aguas residuales a un cuerpo natural de agua*. Lima.
- Campos, A. J. (2007). *Ahorro de Energía en la Industria de papel*. Un proyecto de la Unidad de Planeamiento Minero Energético de Colombia (UPME). Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología.

- Castillo, J. (2005). *Modelo de simulacion para la calidad de agua en un rio.*
- Chapra, S. (1997). *Surface Water Quality Modeling.* McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Corrochano, A. (2006). La Industria Papelera “Se Revista Ambienta: la Revista del Medio Ambiente.(53), 25-31.
- DAP. (2003). Diagnóstico Ambiental Preliminar . Lima, Perú.
- DIGESA. (2009). *Estudio: Evaluación de Monitoreo de Río Rímac con datos de SEDAPAL - Enero 2009.* Lima, Perú.
- Doldán, X. G., & Amil, C. M. (2000). *La contaminación de la Industria de pasta- papel en Galicia:un análisis de flujos de materiales y energía.* Estudios de Economía Aplicada, 143-158.
- Dominguez, C., Barroto, P., & Hernández, G. (2005). *Empleo del Modelo Streeter y Phelps modificado para la planificación de estrategias de saneamiento del río Almendares.* Revista CENIC Ciencias Químicas, 36, 1-5.
- El BROCAL. (2015). *Evaluación ambiental del efecto de vertimiento de aguas residuales industriales.* Sociedad Minera El Brocal S.A.A.
- Escobar, M. (2008). *Evaluación de Impactos del Cambio Climático en Hidrología en Montañas: Desarrollo de una metodología a través de un estudio de caso en Perú.* Construcción del Modelo WEAP del río Santa.
- Guevara, E., & Carrasco, M. (2001). *Modelación estocástica de DBO y OD. Caso estudio rio cabriales.* Organo de divulgacion científica y tecnológica. Facultad de ingeniería.

- Holzner, K. (2012). *La modelación hidrológica cualitativa de ríos. Finalidad, aplicabilidad, conceptos teóricos y datos e investigaciones necesarias de un modelo hidrológico de la carga contaminante en ríos*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Hoyos, S. G., & Silva, P. T. (2013). *Principios básicos de la contaminación ambiental*.
- Limaylla, B. R., Muñoz, O. F., & Ramírez, M. F. (2014). *El oro azul (H₂O)*. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 17(1), 81-87.
- MARTINEZ, M. P. (2010). *Situación ambiental del recurso hídrico en la cuenca baja del río chillón y su factibilidad de recuperación para el desarrollo sostenible*.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (2012). *Decreto supremo n° 022-2012-ag. Comisión multisectorial para la recuperación de la calidad de los recursos de la cuenca del río rimac*. Lima.
- Ministerio del Ambiente (2015). *D.S.N° 015-2015-MINAN. Modifican los Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación*. Lima, Perú.
- Montelongo, C., Gordillo, M., Otazo, S., Villagomez, I., Acevedo, S., & Prieto, G. (2007). *Modelación de la Calidad de agua del río Tula*. 154, 5-18.
- Nelson, E. (1976). *Fluctuation Phenomena*. Ámsterdam.
- OEFA. (2015). *Instrumentos Básicos para la Fiscalización ambiental*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978

- Paredes, A. (2004). *Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda de decisión para la gestión de los recursos hídricos*. Universidad Politécnica de España. España.
- Polla, G. M., Horne, F. E., & Dufilho, A. C. (2004). *Aplicación de un Modelo de Calidad de Agua a un tramo del río Neuquén-Patagonia Argentina*. *Agrociencia*, III (2), 61-72.
- Quinchía, A., Restrepo, C., & Betancourt, G. (2005). *Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín.
- Quispe, M. E. (2015). *Determinación de la Velocidad de Sedimentación de SST en Aguas Residuales de una*. *Revista de Investigación Universitaria*, 4(1), 74-80.
- Ricaurte, S., & Camacho, L. (2005). *Desarrollo y aplicación de un modelo agregado de calidad de agua en un tramo Girardot - Puerto Berrio del río Magddalena*. Obtenido de Repositorio Digital DSpace de la Universidad de los andes Colombia: <http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/643>
- Rodríguez, L., & Atiaga, O. (2013). *Análisis de contaminación y modelamiento de O.D. y materia orgánica. Río Puyo*. Maestría en Sistemas de Gestión ambiental.
- Rojas, R. (2008). *Modelamiento para el análisis de la variación hidrogeológica espacial del acuífero La Yarada - Tacna*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

- Romero, R. J. (2009). *Calidad de Agua* (3° Edición ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sierra, R. C. (2011). *Calidad de Agua - Evaluación y diagnóstico* (Vol. 1° Edición). (E. L. López, Ed.) Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Suárez, J. (2008). *Modelos de calidad de aguas*. Ingeniería sanitaria y ambiental (págs. 1-28). España: Universidad de La Coruña.
- Teschke, K. (2000). *Industria del papel y de la pasta de papel*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.
- THOMANN, V., & MUELLER, J. (1987). *Principles of Surface water Quality Modeling and Control*. New York: Harper & Row.
- USEPA. (2006). *Compilation of EPA Mixing Zone Documents, EPA ocument n° EPA 823-R-06-003, office of water, United States Environmental Protection Agency*. Washington, DC.
- Valcarcel, R., Borroto, J., Alberro, N., & Florez, P. (2010). *Modelación de la calidad del agua en el segmento medio del río Luyanó*. Nucleus- Scielo (47).
- Wang, M., Jao, M., Dempsey, B., & Cornwell, D. (1992). *Engineering behavior of water treatment sludge*. En: *Journal of Environmental Engineering*. 118 (6), 849.

ANEXOS

ANEXO 1. Mapa ubicación de la zona de estudio

ANEXO 2. Ubicación de los puntos de control en el tramo de estudio del río Rímac

ANEXO 3. Panel Fotográfico de la zona de estudio

ANEXO 4. Reportes históricos de vertimiento

ANEXO 5. Reportes históricos de calidad de agua

ANEXO 6. Precipitación media mensual del río Rímac

ANEXO 7. Caudales medios mensuales al río Rímac

Anexo N° 1
Mapa ubicación de la zona de estudio

Mapa de ubicación de la zona de estudio



Leyenda

 Tramo del río en estudio

Río Rimac

Fuente: Google Earth

Elaboración propia

Anexo N° 2

Ubicación de los puntos de control en el tramo de estudio del río Rímac



| PUNTOS DE CONTROL | DESCRIPCIÓN | UTM | | Evaluación del Impacto de vertimiento |
|-------------------|--|-----------|---------|--|
| | | NORTE | ESTE | |
| M-2 | Río Rímac, 25 m aguas arriba del vertimiento | 8 673 969 | 300 940 | Ubicación de los puntos de control en el tramo de estudio del río Rímac |
| M-3 | Río Rímac, 100 m aguas abajo del vertimiento | 8 673 900 | 300 794 | |
| M-4 | Río Rímac, 200 m aguas abajo del vertimiento | 8 673 805 | 300 546 | |
| V-1 | Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas | 8 673 947 | 300 915 | Fuente: Google Earth, 2016 |
| | | | | Elaboración propia |

Anexo N° 3

Panel Fotográfico de la zona de estudio

PUNTOS DE CONTROL DEL TRAMO DEL RIO RÍMAC EN ESTUDIO

AGUA SUPERFICIAL

M-2



Río Rímac, 25 m aguas arriba del vertimiento

De la visita de campo se observó que aguas arriba del vertimiento hay presencia de flora propia del lugar, además el agua presenta coloración turbia, no se presencié otro tipo de vertimiento o contaminación difusa, por ejemplo, presencia de residuos sólidos.

PUNTOS DE CONTROL DEL TRAMO DEL RIO RÍMAC EN ESTUDIO

AGUA SUPERFICIAL

M-3



Río Rímac, 100 m aguas abajo del vertimiento

De la visita de campo se observó que 100 m aguas abajo del vertimiento hay presencia de flora propia del lugar, además el agua presenta coloración turbia, no se presencié otro tipo de vertimiento, pero si se presencié de residuos sólidos en la franja marginal del río

PUNTOS DE CONTROL DEL TRAMO DEL RIO RÍMAC EN ESTUDIO

AGUA SUPERFICIAL

M-4



Río Rímac, 25 m aguas arriba del vertimiento

De la visita de campo se observó que 200 m aguas abajo del vertimiento hay presencia de flora propia del lugar, además el agua presenta coloración turbia, no se presencié otro tipo de vertimiento, pero si se presencié de residuos sólidos y desmontes cerca de la franja marginal del río

PUNTOS DE CONTROL DEL TRAMO DEL RIO RÍMAC EN ESTUDIO

Efluente de la Industria en estudio

V-1



Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas

De la visita de campo se observó que el vertimiento estaba cubierto por las rocas y flora propia del lugar, además el agua presenta coloración turbia, no se presencié residuos sólidos, sólo restos de troncos.

Anexo N° 4

Reportes históricos de vertimiento

REPORTE HISTÓRICO DE PUNTOS DE CONTROL EN VERTIMIENTO

VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES TRATADAS

| PUNTO DE CONTROL | | V-1 | | | | | | LMP (DS 003-2002- PRODUCE) |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|
| Año | | 2013 | | | 2014 | | | |
| Mes | | 15/05/2013 | 15/11/2013 | 25/03/2014 | 16/05/2014 | 22/08/2014 | 25/11/2014 | |
| Hora | | 11:15:00 | 09:47:00 | 11:08:00 | 12:45:00 | 12:33:00 | 09:20:00 | |
| Caudal | L/s | 3 | 3.78 | - | 2.52 | 3.21 | 4 | |
| PARÁMETROS FÍSICOS | | | | | | | | |
| pH | Unidad de pH | 7.52 | 7.65 | 6.48 | 8.53 | 8.07 | 7.75 | 6-9 |
| Temperatura | °Celsius | 24.1 | 23.6 | 24.8 | 23.7 | 23.8 | 22.3 | <35 |
| DBO5 | mg O2 /L | 171.29 | 142.45 | 19.89 | <2 | <2,00 | 15.84 | 30 |
| DQO | mg O2 /L | 437 | 213.33 | 53.3 | <10 | <10,00 | 13.05 | 50 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 5.49 | <3 | 11.97 | 59.86 | 13.96 | 49.97 | 30 |
| PARÁMETROS ORGÁNICOS | | | | | | | | |
| Aceites y grasas (MEH) | mg/L | <1 | <1 | <1 | <1 | <1,00 | <0,5 | 10 |

| PUNTO DE CONTROL | | V-1 | | | | | | | LMP (DS 003-2002- PRODUCE) |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|
| Año | | 2015 | | | | 2016 | | | |
| Mes | | 23/02/2015 | 18/05/2015 | 24/08/2015 | 13/11/2015 | 17/02/2016 | 31/05/2016 | 31/08/2016 | |
| Hora | | 15:30:00 | 11:50:00 | 12:40 | 09:50 | 12:50 | 11:05 | 09:00 | |
| Caudal | L/s | 0.004 | 0.9 | 2 | 2 | 3.2 | 6 | 4.9 | |
| PARÁMETROS FÍSICOS | | | | | | | | | |
| pH | Unidad de pH | 7.36 | 7.76 | 8.08 | 8.25 | 7.96 | 7.74 | 7.8 | 6-9 |
| Temperatura | °Celsius | 26.3 | 27 | 24 | 23.1 | 28.9 | 30.8 | 25.4 | <35 |
| DBO5 | mg O2 /L | 9.87 | 9.97 | 5.15 | <2 | 67.21 | 67.67 | 20 | 30 |
| DQO | mg O2 /L | 21.3 | 26.7 | 15 | <10 | 191.3 | 370.7 | 116.6 | 50 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 11.06 | 12.18 | 20.025 | <3 | 22.4 | 67.4 | 55.52 | 30 |
| PARÁMETROS ORGÁNICOS | | | | | | | | | |
| Aceites y grasas (MEH) | mg/L | <0.5 | 0.7 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | 0.9 | 1.6 | 10 |

Anexo N° 5

Reportes históricos de calidad de agua

REPORTE HISTÓRICO DE PUNTOS DE CONTROL EN AGUA SUPERFICIAL

(RÍO RÍMAC, 25 METROS AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO)

| PUNTO DE CONTROL | | M-2 | | | | | | ECA CATEGORIA A2 |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| Año | | 2013 | | 2014 | | | | |
| Mes | | 15/05/2013 | 15/11/2013 | 25/03/2014 | 16/05/2014 | 22/08/2014 | 25/11/2014 | |
| Hora | | 10:55:00 | 11:50:00 | 11:45:00 | 12:20:00 | 12:00:00 | 09:00:00 | |
| Caudal | L/s | - | - | - | - | - | - | |
| PARÁMETROS FÍSICOS | | | | | | | | |
| Oxígeno Disuelto | mg O2/L | 7.54 | 8.39 | 8.54 | 8.87 | 8.32 | 9.11 | 5 |
| pH | Unidad de pH | 7.76 | 8.27 | 6.45 | 8.26 | 8.24 | 8.27 | 5,5-9 |
| Temperatura | °Celsius | 23.6 | 20.7 | 19.5 | 18.8 | 18.2 | 16.5 | - |
| DBO5 | mg O2 /L | 4.65 | <2 | <2 | <2 | <2,00 | <0.5 | 5 |
| DQO | mg O2 /L | 12.5 | <10 | <10 | 12.15 | <10,00 | <10 | 20 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 6.99 | 10.56 | 74.48 | 10.2 | 4.2 | 5.52 | - |
| PARÁMETROS ORGÁNICOS | | | | | | | | |
| Aceites y grasas (MEH) | mg/L | <1 | <1 | <1 | <1 | <1,00 | <0,5 | 1,7 |

| PUNTO DE CONTROL | | M-2 | | | | | | | ECA CATEGORIA A2 |
|-----------------------------|--------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| Año | | 2015 | | | | 2016 | | | |
| Mes | | 23/02/2015 | 18/05/2015 | 24/08/2015 | 13/11/2015 | 17/02/2016 | 31/05/2016 | 31/08/2016 | |
| Hora | | 11:35:00 | 11:30:00 | 10:00:00 | 10:10:00 | 10:45:00 | 10:30:00 | 09:37:00 | |
| Caudal | L/s | - | - | - | - | - | 12200 | 19100 | |
| PARÁMETROS FÍSICOS | | | | | | | | | |
| Oxígeno Disuelto | mg O2/L | 8.97 | 9.16 | 6.32 | 8.77 | 8.62 | 9.19 | 9.11 | 5 |
| pH | Unidad de pH | 8.11 | 8.42 | 7.73 | 7.23 | 8.41 | 8.53 | 8.23 | 5,5-9 |
| Temperatura | °Celsius | 19.9 | 18.2 | 20.5 | 18.4 | 21.4 | 18 | 17.9 | - |
| DBO5 | mg O2 /L | <2 | <2.00 | 4.99 | <2 | <2 | <2 | <2 | 5 |
| DQO | mg O2 /L | <10 | <10 | 14.95 | 12.7 | <10 | 15.8 | <10 | 20 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L | 60.28 | 8.98 | 20 | 30.03 | 31.95 | 309.17 | 28.49 | - |
| PARÁMETROS ORGÁNICOS | | | | | | | | | |
| Aceites y grasas (MEH) | mg/L | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | <0.5 | 0.8 | <0.5 | 1,7 |

Anexo N° 6

Precipitación media mensual del rio Rímac

**PRECIPITACIONES TOTAL- MESUAL- PROMEDIO MULTIMENSUAL ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RIO RIMAC Y CUENCAS VECINAS
ANA-CPRH-ALA CHILLÓN RIMAC LURIN, 2010**

| N° | Estación | Altitud (msnm) | Mes | | | | | | | | | | | | Total Anual |
|----|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|-------------|
| | | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| 1 | Aeropuerto Internacional | 13.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 1.3 | 1.6 | 1.2 | 1.4 | 2.6 | 0.9 | 0.4 | 0.6 | 10.3 |
| 2 | Arahuay | 2800.0 | 64.7 | 90.3 | 90.8 | 24.9 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 6.9 | 10.6 | 26.4 | 317.4 |
| 3 | Autisha | 2171.0 | 35.7 | 58.1 | 60.9 | 13.2 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.6 | 4.5 | 7.0 | 17.2 | 200.2 |
| 4 | Campo de Marte | 159.0 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 1.2 | 2.2 | 1.1 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 7.8 |
| 5 | Canchacalla | 2554.0 | 66.1 | 75.5 | 79.5 | 22.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 8.3 | 5.8 | 38.9 | 297.1 |
| 6 | Carampoma | 3489.0 | 83.7 | 95.1 | 90.8 | 30.3 | 3.2 | 0.3 | 0.8 | 1.4 | 6.7 | 19.8 | 26.1 | 52.3 | 410.4 |
| 7 | Casapalca | 4214.0 | 105.2 | 114.1 | 109.6 | 46.2 | 16.1 | 6.7 | 7.7 | 14.3 | 34.8 | 54.0 | 50.9 | 87.9 | 647.6 |
| 8 | Chalilla | 4050.0 | 66.7 | 85.3 | 102.8 | 23.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.8 | 8.9 | 12.5 | 46.7 | 348.1 |
| 9 | Chosica (PLU) | 850.0 | 5.7 | 7.7 | 6.2 | 1.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 1.8 | 23.3 |
| 10 | Cieneguilla | 280.0 | 2.1 | 0.0 | 2.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 6.4 |
| 11 | Hipólito Unanue | 70.0 | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 8.3 |
| 12 | La Cantuta | 850.0 | 9.9 | 4.0 | 2.9 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 2.9 | 20.5 |
| 13 | Lachaqui | 3668.0 | 114.2 | 146.1 | 167.2 | 52.1 | 6.4 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 5.9 | 31.2 | 37.3 | 67.8 | 629.8 |
| 14 | Laguna Pirhua | 4750.0 | 107.3 | 106.9 | 125.1 | 78.9 | 22.7 | 7.2 | 9.5 | 9.7 | 37.5 | 57.0 | 43.8 | 97.1 | 702.7 |
| 15 | Matucana | 2479.0 | 58.1 | 69.7 | 75.4 | 18.8 | 1.8 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 1.9 | 8.9 | 11.9 | 38.2 | 285.2 |
| 16 | Milloc | 4398.0 | 140.2 | 142.3 | 144.0 | 67.5 | 23.7 | 8.7 | 9.5 | 16.4 | 40.2 | 68.2 | 78.0 | 124.5 | 863.2 |
| 17 | Mina Colqui | 4600.0 | 121.8 | 148.4 | 157.0 | 59.9 | 12.5 | 4.0 | 2.8 | 11.4 | 25.6 | 48.2 | 50.5 | 84.4 | 726.4 |
| 18 | Nana | 460.0 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 |
| 19 | Pariacancha | 3800.0 | 122.8 | 130.9 | 133.0 | 56.5 | 18.4 | 2.9 | 4.6 | 7.6 | 23.8 | 53.4 | 55.3 | 95.2 | 704.6 |
| 20 | Rimac | 35.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 |
| 21 | Río Blanco | 3550.0 | 93.7 | 122.4 | 106.8 | 34.1 | 6.5 | 1.6 | 0.9 | 1.9 | 15.2 | 28.0 | 39.0 | 75.1 | 525.3 |
| 22 | San José de Parac | 3860.0 | 110.8 | 131.0 | 124.7 | 41.3 | 9.5 | 2.6 | 1.7 | 3.9 | 13.4 | 41.0 | 46.6 | 85.6 | 612.1 |
| 23 | Santa Clara | 415.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 2.2 |
| 24 | Santa Eulalia | 982.0 | 7.6 | 10.3 | 10.7 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 2.6 | 33.4 |
| 25 | Santiago de Tuna | 2921.0 | 59.3 | 103.1 | 105.7 | 16.6 | 1.4 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 3.4 | 8.1 | 31.9 | 330.4 |
| 26 | San Cristobal | 4700.0 | 137.6 | 124.9 | 150.0 | 75.9 | 25.7 | 11.1 | 8.1 | 17.5 | 40.6 | 67.5 | 85.6 | 130.0 | 874.6 |
| 27 | Von Humboldt | 238.0 | 1.0 | 1.1 | 0.5 | 0.6 | 1.7 | 2.1 | 1.7 | 2.2 | 1.8 | 0.7 | 0.7 | 0.4 | 14.5 |

Anexo N° 7

Caudales medios mensuales al rio Rímac

PERSISTENCIA DE DESCARGA MEDIAS MENSUALES CAUDALES DEL RIO RÍMAC- ESTACIÓN CHOSICA
ANA-CPRH-ALA CHILLÓN RIMAC LURIN, 2010

| Persistencia | Mes | | | | | | | | | | | | Prom Anual |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | |
| Promedio | 37.40 | 56.05 | 66.10 | 39.60 | 20.99 | 14.66 | 12.95 | 12.83 | 13.60 | 14.31 | 16.72 | 22.86 | 27.34 |
| P (50%) | 34.86 | 48.99 | 61.92 | 39.37 | 20.09 | 13.39 | 12.31 | 12.43 | 13.05 | 13.58 | 15.18 | 21.32 | 25.54 |
| P (75%) | 25.73 | 39.85 | 46.55 | 29.51 | 16.58 | 12.17 | 10.38 | 10.65 | 11.80 | 12.42 | 13.18 | 17.06 | 20.49 |
| P (90%) | 18.42 | 27.14 | 36.67 | 22.84 | 13.23 | 9.92 | 8.85 | 8.53 | 9.69 | 10.66 | 12.01 | 13.12 | 15.92 |
| P (95%) | 16.80 | 22.22 | 31.03 | 16.89 | 12.21 | 8.14 | 7.52 | 7.87 | 8.92 | 9.99 | 9.88 | 11.97 | 13.62 |

GRAFICA VARIACIÓN MENSUALES DE VOLUMENES DEL RIO RÍMAC- ESTACIÓN CHOSICA
ANA-CPRH-ALA CHILLÓN RIMAC LURIN, 2010

