

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental
Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización



“Propuesta de Mejoramiento de Diseño del Vertimiento de un Efluente Minero en la Quebrada Chonta mediante la aplicación de un Modelo de Dispersión de Contaminantes y los Índices de Calidad de Agua”

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Natalie Liv Callo Aguirre,

Martha Elena Laura Vigo

Lima-Perú

2014

Dedicado a Catalina y Jesús

Liv Callo

Dedicado a mi familia, especialmente a Francisca, Martha e Ismael

Martha Laura

Agradecemos a Lizardo
Visitación, Mg. Quím., por su
ayuda y colaboración para la
realización y culminación de este
trabajo.

Agradecemos a nuestros amigos y
amigas por su tiempo y apoyo
incondicional. Para nosotras su
amistad es invaluable.

Índice General

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	ASPECTOS NORMATIVOS O LEGALES	3
2.1.1.	NACIONAL	3
2.2.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	7
2.2.1.	AMBIENTE FÍSICO.....	7
2.2.2.	AMBIENTE BIOLÓGICO.....	15
2.2.3.	AMBIENTE SOCIOECONÓMICO	16
2.2.4.	CATEGORIZACIÓN DE LA QUEBRADA CHONTA	18
2.3.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA Y DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ESTUDIO.....	21
2.3.1.	CONDICIONES GENERALES DEL BOTADERO DE DESMONTE.....	22
2.3.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE	23
2.4.	GENERALIDADES DE MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES	33
2.4.1.	MODELO HIDRODINÁMICO DE ZONA DE MEZCLA – CORMIX (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM)	33
2.4.2.	PROCESOS DE MEZCLA HIDRODINÁMICOS.....	35
2.4.3.	DEFINICIONES DE LA ZONA DE MEZCLA.....	48
2.4.4.	INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	49
2.4.5.	MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL TRANSPORTE EN CUERPOS DE AGUA	49
2.5.	CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (ICA - CCME)	55
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
3.1.	MATERIALES	59
3.1.1.	UBICACIÓN	59
3.1.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	59
3.2.	METODOLOGÍA	60
3.2.1.	PROCESAMIENTO DE DATOS	60
3.2.2.	ANÁLISIS DEL CUERPO RECEPTOR – QUEBRADA CHONTA	65
3.2.3.	ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE	67

3.2.4.....ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE CON LAS MEJORAS TÉCNICAS	69
3.2.5. DETERMINACIÓN DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA	72
3.2.6. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN REAL DEL VERTIMIENTO CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA .	72
3.2.7. CÁLCULO DEL ICA EN EL CUERPO RECEPTOR COMO RESULTADO DEL DISEÑO DEL VERTIMIENTO CON LA MEJORAS TÉCNICAS ÓPTIMA.	72
3.2.8. COMPARACIÓN DE LOS ICA EN EL CUERPO RECEPTOR	73
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	74
4.1.1. TEST DE GRUBBS	74
4.1.2. SELECCIÓN DE PARÁMETROS A ANALIZAR.....	75
4.1.3. PRESENTACIÓN DE DATOS - DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES..	80
4.1.4. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN EXTREMA	95
4.2. ANALISIS DEL CUERPO RECEPTOR – QUEBRADA CHONTA	95
4.2.1. EVALUACIÓN ESPACIAL.....	95
4.2.2. EVALUACIÓN TEMPORAL – ANÁLISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES (APCP).....	96
4.3. ANÁLISIS DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE.....	101
4.3.1. APLICACIÓN DEL CORMIX 3 EN LA MODELACIÓN DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE EN LA QUEBRADA CHONTA - SITUACIÓN EXTREMA.....	101
4.4. ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE CON LAS MEJORAS TÉCNICAS	103
4.4.1. APLICACIÓN DEL CORMIX 1 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°1 (TUBERÍA SUMERGIDA) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA	103
4.4.2. APLICACIÓN DEL CORMIX 2 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°2 (MULTIPUERTO) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA	105
4.4.3. APLICACIÓN DEL CORMIX 1 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°3 (TUBERÍA POR ENCIMA) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA	107
4.5. DETERMINACION DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA.....	109
4.6. ANÁLISIS DE LA SITUACION REAL DEL VERTIMIENTO CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA...	109

4.7. CÁLCULO DEL ICA EN EL CUERPO RECEPTOR COMO RESULTADO DEL DISEÑO DEL VERTIMIENTO CON LA MEJORA TECNICA ÓPTIMA	115
4.8. COMPARACIÓN DE LOS ICA EN EL CUERPO RECEPTOR.....	115
V. CONCLUSIONES	119
VI. RECOMENDACIONES	120
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
VIII. ANEXOS	126

Índice de Cuadros

CUADRO 1. Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.....	5
CUADRO 2. Ocupación principal de personas mayores de 15 años en la Comunidad Campesina de Pumallacta.....	17
CUADRO 3. Criterios de diseño.....	22
CUADRO 4. Descarga del efluente del Botadero de Desmonte.....	28
CUADRO 5. Información del Efluente a la salida del Sistema de tratamiento.....	28
CUADRO 6. Información de las estaciones de monitoreo en el cuerpo recepto.....	29
CUADRO 7. Parámetros de Campo.....	61
CUADRO 8. Parámetros de Ensayo.....	62
CUADRO 9. Resultados del monitoreo del Efluente del Botadero de Desmonte.....	63
CUADRO 10. Ingreso de los valores de concentración por trimestre.....	66
CUADRO 11. Ingreso de los valores de los ECA-Agua.....	66
CUADRO 12. Aplicación del Test de Grubbs a los resultados de los monitoreos del Efluente de Botadero de Desmonte.....	74
CUADRO 13. Resultados de monitoreo del efluente, comparados con el LMP y los ECA – Agua.....	75
CUADRO 14. Resultados del monitoreo del Cuerpo Receptor Aguas Arriba - Quebrada Chonta.....	76
CUADRO 15. Resultados del monitoreo del Cuerpo Receptor Aguas Abajo - Quebrada Chonta.....	77

CUADRO 16. Resultados de la Simulación 100 m Aguas Abajo del Vertimiento del Efluente del Botadero de Desmonte - Quebrada Chonta.....	78
CUADRO 17. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Caudal.....	80
CUADRO 18. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – pH.....	81
CUADRO 19. Cuadro 18. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Temperatura.....	82
CUADRO 20. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Conductividad eléctrica.....	83
CUADRO 21. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Oxígeno disuelto.....	84
CUADRO 22. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Arsénico.....	85
CUADRO 23. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Cadmio.....	86
CUADRO 24. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Cobre.....	87
CUADRO 25. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Mercurio.....	88
CUADRO 26. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Plomo.....	89
CUADRO 27. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Zinc.....	90
CUADRO 28. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Sólidos suspendidos totales.....	91
CUADRO 29. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Hierro.....	92
CUADRO 30. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Manganeso.....	93
CUADRO 31. Situación Extrema.....	95
CUADRO 32. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta - Época Seca.....	95
CUADRO 33. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta - Época Húmeda.....	96
CUADRO 34. Resultados de la simulación de la Situación Extrema.....	101

CUADRO 35. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema.....	102
CUADRO 36. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 1.....	103
CUADRO 38. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 1.....	104
CUADRO 39. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 2.....	105
CUADRO 40. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 2.....	106
CUADRO 41. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 3.....	107
CUADRO 42. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 3.....	108
CUADRO 43. Comparación de los Concentraciones de los parámetros a 100 m.....	109
CUADRO 44. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de las campañas de monitoreo del efluente del Botadero de Desmonte con la Mejora Técnica Óptima.....	110
CUADRO 45. Resultados de la simulación por Campañas de Monitoreo con la Mejora Técnica Óptim.....	113
CUADRO 46. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Seca.....	115
CUADRO 47. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Húmeda.....	115
CUADRO 48. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Seca.....	116
CUADRO 49. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Húmeda.....	116

Índice de Figuras

FIGURA 1. Mapa Hidrográfico de la zona de estudio – Quebrada Chonta.....	14
FIGURA 2. Mapa Hidrológico.....	20

FIGURA 3. Estación QCH-A.....	30
FIGURA 4. Estación QCH-B.....	30
FIGURA 5. Estación QCH-C.....	31
FIGURA 6. Ubicación de las estaciones de monitoreo en la Quebrada Chonta.....	31
FIGURA 7. Sistema De Tratamiento de las aguas residuales provenientes del Botadero de Desmonte.....	32
FIGURA 8. Ejemplos de Estabilidad del Campo Cercano y condiciones de estabilidad de descargas sumergidas a una profundidad limitada de agua.....	40
FIGURA 9. Ejemplos de Interacciones de Frontera para Chorros sumergidos en una profundidad limitada.....	41
FIGURA 10. Ejemplos de Condiciones del Acoplamiento Estela (flujo cruzado inducido) y Acoplamiento Coanda para chorros que descargan cerca a la frontera.....	42
FIGURA 11. Típicos Patrones de superficie de flujo de mezcla de chorro boyante en condiciones ambientales estancadas o corrientes.....	44
FIGURA 12. Procesos de esparcimiento boyante aguas debajo de la región de Campo Cercano (ejemplo de esparcimiento a lo largo de la superficie del agua).....	47
FIGURA 13. Esquematización del proceso de dispersión.....	51
FIGURA 14. Propagación de un pulso de contaminación.....	52
FIGURA 15. Distribución de la concentración debida a aportes puntuales continuos.....	53
FIGURA 16. Descarga puntual continúa desde la margen.....	55
FIGURA 17. Objetivo excedencia - imaginario ICA del CCME.....	56
FIGURA 18. Esquematización de la salida del vertimiento al cuerpo receptor.....	68
FIGURA 19. Esquematización de la Mejora Técnica N° 1.....	69
FIGURA 20. Esquematización de la Mejora Técnica N° 2.....	70
FIGURA 21. Esquematización de la Mejora Técnica N° 3.....	71
FIGURA 22. Diagrama de Cajas-caudal.....	80
FIGURA 23. Diagrama de Cajas -pH.....	81
FIGURA.24. Diagrama de Cajas-Temperatura.....	82
FIGURA 25. Diagrama de Cajas- conductividad eléctrica.....	83

FIGURA 26. Diagrama de Cajas - Oxígeno disuelto.....	84
FIGURA 27. Diagrama de Cajas – Arsénico.....	85
FIGURA 28. Diagrama de Cajas-Cadmio.....	86
FIGURA 29. Diagrama de Cajas – Cobre.....	87
FIGURA 30. Diagrama de Cajas – Mercurio.....	88
FIGURA 31. Diagrama de Cajas – Plomo.....	89
FIGURA 32. Diagrama de Cajas – Zinc.....	90
FIGURA 33. Diagrama de Cajas – SST.....	91
FIGURA 34. Diagrama de Cajas – Hierro.....	92
FIGURA 35. Diagrama de Cajas – Manganeso.....	93
FIGURA 36. Aguas arriba.....	96
FIGURA 37. Aguas abajo.....	97

Índice de Anexos

ANEXO 1. Pasos a seguir para el Modelamiento con CORMIX 1, 2 y 3.....	126
ANEXO 2. Cálculos de los ICA - CCME.....	132
ANEXO 2.1. Cálculos de los ICA en las estaciones QCH-B y QCH-C (Situación Real).....	133
ANEXO 2.2. Cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo de la estación QCH-A (Situación Real)	135
ANEXO 2.3. Cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo de la estación QCH-A (Mejora Óptima).....	137

Lista de Abreviaturas

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APCP: Análisis por Componentes Principales

APHA: *American Public Health Association*

AWWA: *American Water Works Association*

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

CORJET: *Cornell Buoyant Jet Integral Model*. Subprograma del CORMIX el cual sirve para el análisis de detalle del comportamiento del flujo boyante del Campo Cercano y el localizador de pluma de Campo Lejano, para la delineación de plumas de descarga del Campo Lejano en el ambiente de ríos no uniformes o estuarios.

CORMIX: *Cornell Mixing Zone Expert System*

DHYDRO: Subprograma del CORMIX el cual sirve para la simulación para salmueras, sedimentos y residuos de perforación y descargas de barro

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

ECA-Agua: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

FFL: *Far Field Locator*

HDPE: *High-density polyethylene*

HP: *Horsepower* (caballo de fuerza)

ICA-CCME: Índice de Calidad Ambiental de la *Canadian Council of Ministers of the Environment*

LMP: Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINEM: Ministerio de Energía y Minas

QCH-A: Estación aguas arriba del efluente

QCH-B: Estación del efluente

QCH-C: Estación aguas abajo del efluente

RPM: Revoluciones por minuto

SM: *Standard Methods*

U.S. EPA o EPA: Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos

WEF: *Water Environment Federation*

XLSTAT: *Statistical software for Excel*

RESUMEN

El diseño de un vertimiento puede influir en la velocidad de mezcla del efluente con el cuerpo receptor, y por lo tanto, en la autodepuración de este último. El efluente minero, objeto de estudio, corresponde a un botadero de desmonte ubicado en el departamento del Cusco, donde se almacena material con baja ley proveniente de una Unidad Minera a tajo abierto de explotación y beneficio de oro y plata. El efluente minero en mención es vertido en la quebrada Chonta; como producto de la infiltración de la precipitación, en el área expuesta del botadero, se caracteriza por su bajo pH y elevado contenido de metales disueltos. Pese a que este efluente pasa por un sistema de tratamiento, previo a su vertimiento en el cuerpo receptor, el objetivo de la presente investigación es proponer una mejora del diseño de dicho vertimiento y favorecer la autodepuración de la quebrada. En primer lugar, se realizó un procesamiento de datos con base en los informes de monitoreo trimestrales del mencionado efluente y cuerpo receptor, para luego hacer un diagnóstico de la situación real del cuerpo receptor y del efluente. Posteriormente, se analizó el comportamiento del efluente en el cuerpo receptor con la implementación de tres (03) mejoras técnicas, para después de comparar, elegir la mejora técnica óptima. Finalmente se calcularon y compararon los Índices de Calidad de Agua (ICA) en la quebrada Chonta, calculados para la situación real y la situación con la mejora técnica óptima. Cabe indicar que los resultados determinaron la mejora técnica óptima que consistía en una tubería sumergida en la quebrada, a una altura de 0.6 m del fondo de la misma. Además, las comparaciones de los ICA arrojaron que la calidad de la quebrada Chonta mejoraba en época húmeda, de Bueno a Excelente y de Marginal a Bueno, para los ECA Categoría 1A y 4, respectivamente.

Palabras claves: efluente minero, botadero de desmonte, CORMIX, índices de calidad de agua, mejora técnica, zona de mezcla.

ABSTRACT

A shedding design might influence the mixing speed of the effluent and the receptor, but also in the cleaning of the latter. We evaluated a waste rock dump (mining effluent) produced by an open pit mining unit, which processes gold and silver, located in Cusco. As a result of infiltration and precipitation, this mining effluent is dragged to Chonta stream. Although this effluent is treated prior to its discharge into the receiving body, the area exposed to the mining effluent is characterized by low pH and high dissolved metals. The aim of this research is to propose an improved design of the dumping and promote self-purification of the creek. We used the trimestral monitoring results of the effluent and the receptor and performed a data processing and made a diagnosis of the real situation of the receiving body and effluent. The behavior of the effluent in the receptor was analyzed with the implementation of three (03) technical improvements, later, the best technical improvement for such analysis was chosen. Finally, we calculated and compared the observed results and the results obtained from the technical improvements with the Water Quality Index (“Indices de Calidad de Agua” - ICA). The best technical improvement consisted in a pipe submerged in the creek, at a height of 0.6 m at the bottom. Further, comparisons of the ICA showed that the quality of Chonta stream improved in wet season, from Good to Great and Marginal Well, for RCTs Category 1A and 4, respectively.

Keywords: mining effluent, waste rock dump, CORMIX, water quality index, technical improvement, mixing zone.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los destinos más atractivos para la inversión minera en el mundo. A nivel mundial y Latinoamérica, el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país (MINEM, 2009). De ese modo, nuestro país es el 1er productor de plata a nivel mundial y 2do de cobre. Asimismo, es el primer productor de oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina. La cordillera de los Andes es la columna vertebral del Perú y la principal fuente de depósitos minerales del mundo (MINEM, 2009).

La minería representa un gran aporte para la economía; sin embargo, el Perú es un país de conflictos sociales, sobre todo en los temas relacionados a la minería y el medio ambiente. Los problemas medioambientales están relacionados básicamente a los contaminantes potenciales que pueden afectar el agua y el aire (Revista Rumbo Minero, 2013).

El agua es un recurso indispensable y fundamental para los seres vivos, en especial para los humanos, constituyendo así el líquido más abundante y el recurso más importante en la tierra. Sin embargo, a pesar de su gran abundancia, la cantidad de agua fresca disponible, la cual es la principal fuente de abastecimiento para las actividades domésticas y las industrias, es aproximadamente el 3 % del agua total del mundo (Torres, 2009). Si al problema de la escasez de agua le añadimos la contaminación, entonces el problema se torna más agudo (Flores, 1997). Una de las razones detrás del deterioro de la calidad del agua de los ríos, es que la mayoría de los mismos son considerados como el punto final de descargas de efluentes urbanos sin ningún tratamiento primario. Esto también está extendido a actividades industriales, agrícolas u otras en las cuencas (Munna et al. 2013).

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), una de las principales causas de la contaminación del agua son los vertimientos mineros. Existen aproximadamente 257 plantas de beneficio, 164 se localizan en la cuenca del Pacífico. Estas plantas procesan 120 111 959 TM/año de mineral, lo cual genera pasivos ambientales (relaves mineros, aguas ácidas, suelos degradados, etc.) que desencadenan una serie de conflictos ambientales con la población de influencia. La contaminación del agua es la acumulación indeseable de sustancias, organismos y cualquier forma de energía en un sistema hídrico, de tal manera que supere la capacidad de asimilación y/o autodepuración del cuerpo receptor generando

concentraciones en el cuerpo de agua que exceden el estándar de calidad normado en la zona sometida a regulación, lo que en otras palabras se podría denominar agua de mala calidad.

La normativa ambiental determina que los titulares mineros están impedidos de verter efluentes a cuerpos de agua que no sean tratados previamente. Por estas razones la disposición y el adecuado vertimiento de estos efluentes tratados a un cuerpo receptor determinarían la calidad del agua superficial.

Evaluar el comportamiento del contaminante en el cuerpo receptor es necesario para asegurar su mezcla homogénea y por consiguiente la asimilación del mismo. Para evaluar la dispersión de contaminantes es necesario estimar o predecir sus concentraciones en varios lugares dentro del cuerpo de agua. Uno de los mecanismos es a través del uso de modelos de dispersión de contaminantes (CEPIS, 2001).

El uso del Cornell Mixing Zone Expert System (CORMIX) como herramienta, ayuda a evaluar el comportamiento de las aguas residuales al momento de su ingreso en un cuerpo receptor, el software permite escoger entre varios escenarios de descarga y diferentes tipos de contaminantes tales como: aguas residuales, aguas calientes, sólidos, etc.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

Objetivo Principal

- Mejorar el Diseño del Vertimiento de un efluente minero en la Quebrada Chonta.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del diseño del Vertimiento actual del efluente minero a la Quebrada Chonta y su impacto.
- Determinar los Índices de Calidad de Agua (ICA - CCME) en el cuerpo receptor donde desemboca el Vertimiento.
- Proponer alternativas para el diseño óptimo del Vertimiento en función al modelamiento desarrollado con el software CORMIX.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.ASPECTOS NORMATIVOS O LEGALES

2.1.1. NACIONAL

Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

Como especifica en el Artículo 113°, toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes. Los objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental a tomar en cuenta son:

- Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente, identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten.
- Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas.

En el Artículo 121 Del Vertimiento de aguas residuales, menciona que el Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA - Agua)

Establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el 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 (D. S. N° 002-2008-MINAM).

Por otro lado, en el D.S. N°023-2009-MINAM (Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua), Artículo 5, Implementación del ECA - Agua y la Zona de Mezcla; menciona que en aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA - Agua fuera de la zona de mezcla, considerando como referente la categoría asignada para el cuerpo de agua.

En el Artículo 6 Implementación del ECA - Agua y la Zona de mezcla, menciona que en aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA - Agua fuera de la zona de mezcla, considerando como referente la categoría asignada para el cuerpo de agua. La metodología y aspectos para la definición de la zona de mezcla serán establecidos por la ANA en coordinación con el MINAM y con la participación de la autoridad ambiental del sector correspondiente.

En el Artículo 8° De los instrumentos de gestión ambiental y del ECA - Agua, menciona que los ECA son referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, en este caso de Autorización de vertimiento.

La categoría 3, Clase 3 del ECA - Agua está referida al Riego de vegetales y Bebida de animales, entiéndase como aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido, y para animales menores como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (LMP)

Según el D. S. N° 010-2010-MINAM, el efluente líquido de Actividad Minero-Metalúrgicas es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que puede provenir de:

- Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

- Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.

El Límite Máximo Permisible es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero metalúrgicas, y que al ser excedida causa o pueda causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

El Límite en cualquier momento es el valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Mientras el Límite Promedio Anual es el valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

Cuadro 1. Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0,8
Arsénico total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	0,08
Cobre total	mg/L	0,5	0,4
Hierro disuelto	mg/L	2	1,6
Plomo total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: MINAM, 2010

Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338

En el Artículo 79° de la Ley de Recursos hídricos (Ley N° 29338), indica que la Autoridad Nacional del Agua es el ente que autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambientales y de Salud sobre el cumplimiento de los ECA-Agua y LMP. Además en el Artículo 80°, Autorización de vertimiento, específica que el instrumento ambiental pertinente para la autorización de vertimiento debe contemplar los siguientes aspectos

respecto de las emisiones: 1) Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos; y 2) Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

En el Reglamento de la Ley de Recursos hídricos, Capítulo VI Vertimientos de Aguas Residuales Tratadas, Artículo 131° aguas residuales y vertimientos, se entiende por:

Aguas Residuales: aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo.

Vertimiento de aguas residuales: es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima.

Autorizaciones de Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas

Según el Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reuso de aguas Residuales Tratadas (R. J. N° 224-2013-ANA), define algunos términos importantes:

Aguas de Mina: aguas resultantes de los trabajos ejecutados en interior de mina y que por estar en contacto con cuerpos mineralizados adquieren características que hacen necesario su tratamiento previo a su disposición final, debiéndoselas considerar como aguas residuales.

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 un tratamiento previo.

Aguas residuales industriales: aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

Vertimiento de aguas residuales tratadas: descarga de aguas residuales previamente tratadas, que se efectúa en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluye a los provenientes de naves y artefactos navales.

Zona de mezcla: aquella en donde se logra la dilución inicial del vertimiento en el cuerpo receptor de agua, sin considerar otros factores como el decaimiento bacterial ni la dilución horizontal, siendo su propósito definir una región limitada para la mezcla

completa del efluente con el agua del cuerpo receptor. Como tal, la zona de mezcla no es una región que cumpla con las normas ambientales, por lo que implica un uso limitado del agua.

Según Jirka (1996), la Zona de mezcla es un término administrativo que define un área o volumen limitado del cuerpo receptor donde la dilución inicial de una descarga se permite que se produzca. En la práctica, puede ocurrir dentro del Campo Cercano o Campo Lejano de un Proceso de Mezcla Hidrodinámico y por lo tanto depende de la fuente, del ambiente y limitaciones reglamentarias.

Según el ANA (2012), la metodología de evaluación del impacto de un vertimiento en un cuerpo natural de agua continental y marino, en aplicación de los criterios descritos, será establecido por la ANA como resultado del establecimiento de la línea base y el modelamiento para la definición de la capacidad de asimilación de carga contaminante para cada unidad hidrográfica.

Es importante indicar que actualmente la ANA no ha publicado los criterios o metodología para determinar la zona de mezcla (Hygeomín Perú, 2013).

2.2.DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La descripción de la zona de estudio fue realizada por la consultora Tecnología XXI en el año 2013, como parte de la elaboración de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero.

2.2.1. AMBIENTE FÍSICO

a. Clima

La caracterización climática del lugar se realizó en base a las características de las zonas de vida presentes en el entorno y a los datos meteorológicos de la Estación de Yauri, puesto que es la más cercana a la Unidad Minera, estando ubicada en el distrito Espinar, provincia Espinar, departamento de Cusco. La Unidad Minera está ubicada en la zona de vida Páramo Pluvial Subalpino Subtropical, para la cual el diagrama bioclimático considera parámetros de precipitación total anual entre 1 000 y 2 000 mm. La precipitación anual oscila entre 450 a 1 390 mm, con un promedio anual de 820 mm.

La biotemperatura anual varía entre 3°C y 6°C, mientras que la relación de evapotranspiración potencial varía de 0,125 a 0,25. La característica de humedad a la que pertenece es la Superhúmeda. A su vez, se estimó que las características térmicas son frías

con tendencia a muy frías. La evapotranspiración potencial total anual ha sido establecida como una fracción de la evaporación anual obteniéndose un total de 700 mm anuales.

b. Geología

La región está emplazada en el flanco oriental de la cordillera occidental de los Andes Sur Occidentales comprendidos entre altitudes de 3 500 a 5 000 msnm de altitud. La secuencia estratigráfica está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas que se depositaron entre el Jurásico superior y el Cuaternario, están instruidas por rocas plutónicas principalmente de composición diorítica, tonalítica y granodiorítica, presentan evidencias de eventos subvolcánicos de composición andesíticos y dacíticos. Por lo general, los procesos de alteración y generalización metálica de la región está asociada a estos eventos subvolcánicos (sistemas epitermales) y a rocas plutónicas (sistemas porfiríticos - mesotermales).

Según Tecnología XXI (2013), la Unidad Minera está situada en un yacimiento de tipo ácido sulfato (alta sulfuración) con alteraciones sílice masiva, sílice vuggy, sílice alunita, argílico y propílitica; emplazada en rocas Subvolcánicas (domos) de composición dacítica.

c. Geomorfología de la Quebrada Chonta

La Quebrada Chonta es relativamente profunda, un valle del tipo "V", donde se encuentran depósitos aluviales, con profundidades de 100 - 200 m. aproximadamente, las diferentes pendientes que presentan en su recorrido son originados por las diferentes geoformas modeladas por los agentes modeladores y que continúan transformando el terreno de estas quebradas.

En el recorrido que realiza esta quebrada por las inmediaciones de la Unidad Minera, atraviesa diferentes geoformas caracterizadas por su pendiente, entre las cuales se encuentran:

- Laderas de montaña extremadamente empinadas (LMee) en esta parte del terreno por donde atraviesa la quebrada Chonta son parte del terreno con pendientes bien pronunciadas y en donde la quebrada pasa en forma muy encañonada generando la erosión de riveras a su paso.
- Laderas de montaña moderadamente empinadas (LMme) y las laderas de montaña fuertemente inclinadas (LMfi) en estas dos geoformas tenemos dos actividades

producto del paso de las aguas de la quebrada y del intemperismo de la zona y es que se encuentran zonas de caída de rocas y erosión por cárcavas.

En las demás geoformas tales como bofedales, laderas de montaña moderadamente inclinada por su menor pendiente no se ha detectado actividad alguna.

d. Suelos

Según su origen

Suelos derivados de material transportado: Son aquellos desarrollados a partir de materiales aluviales recientes que han sido transportados y depositados por los diferentes cursos hídricos, y que muestran un relieve plano ondulado con pendiente plana a ligeramente inclinados. Presentan suelos superficiales a moderadamente profundos, sin o con escaso desarrollo genético, en algunos casos depósitos de material orgánico; y presencia de material gravoso anguloso de origen coluvio aluvial o fluvio glacial en las partes bajas provenientes de las montañas; textura dominante media a moderadamente gruesa; reacción mayormente neutra a moderadamente ácidas, de fertilidad natural media a baja. Son tierras cubiertas con vegetación natural: pastos alto andinos, en algunos casos hidromórficos. Este grupo de suelos se distribuye en forma localizada con pendientes planas a ligeramente inclinadas (0% - 25%).

Suelos derivados de material residual: Son aquellos suelos desarrollados in situ a partir de materiales residuales de material volcánico, de variada composición litológica, mayormente volcánicas, que han sido intemperizadas y edafizadas en el mismo lugar. Se distribuyen ampliamente dentro de la zona, ocupando las laderas de montaña con pendientes desde 25% hasta mayores de 75%. Sin desarrollo genético; son superficiales, de textura variable. Estas tierras predominantemente son de Tierras de Protección.

Clasificación de las unidades de suelos

Desde el punto de vista de manejo y uso de la tierra, las unidades taxonómicas se han dividido en fases por pendiente.

Esta clasificación científica constituye el material informativo básico para realizar diversas interpretaciones de orden técnico práctico, siendo una de ellas, la Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor.

Descripción de las unidades edáficas

Consociación Yanama (Ya): Se encuentran cubiertos con una vegetación hidromórfica alto andina. Su topografía es plana a ligeramente inclinada, con pendientes que fluctúan de 1% a 2%. El drenaje es pobre. El escurrimiento superficial es lento. Su vegetación está compuesta por especies de pastura hidromórficas: como la *Distichia muscoides* y *Poa aequigluma*. Agrupa suelos orgánicos sin desarrollo genético, parcialmente descompuestos, tipo Oi de 30 cm; moderadamente profundos a profundos, de estructura granular fina débil; sin horizonte subsuperficial de diagnóstico; de color pardo oscuro a negro; conformados por un horizonte superficial Ag de 0 cm a 15 cm de espesor, franco arenoso, que grada a un horizonte CRg; de 15 cm a 50 cm, de textura media a gruesa: franco arenoso, que descansa sobre un horizonte 1C1g, cn profundidad mayor a los 50 cm. En otras áreas se aprecia, el estrato orgánico que descansa sobre material fluviónico. Tienen una alta capacidad de retención hídrica. La fertilidad natural de los suelos varía de baja a media.

Consociación Pumallacta (PC): Está constituida por suelos arenosos franco a franco arcillo arenosos, de color negro sobre pardo amarillento claro; moderadamente profundos. Desarrollado a partir de material coluvio aluviónicos, provenientes de las laderas de las montañas cercanas en la época del Pleistoceno. Su topografía es plano ondulada y suave con pendientes variables de 5% a 25%. El drenaje es bueno. El escurrimiento superficial es lento a rápido. Su vegetación está compuesta por especies naturales: pastos naturales como el ichu y calamagrostis predominantes, sometidos a un pastoreo continuo, además que pueden estar dedicados a una agricultura de subsistencia a base de especies alto andinos nativos como la papa amarga. Agrupa suelos que presentan un perfil con cierto desarrollo genético, tipo ABwCR; superficiales a moderadamente profundos, de estructura granular fina a media, débil; con epipedón úmbrico, con horizonte cámbico, subsuperficial de diagnóstico; conformado por un horizonte superficial A1 de 0 cm a 15 cm de espesor, sobre un horizonte: Bw, de estructura: bloques subangulares a angulares de 15 cm a 30 cm de profundidad, de textura: franco arcillo arenosa; consistencia en seco ligeramente duros; que descansan sobre un horizonte parental rocoso meteorizado: CR. Se observa gravas de 5 cm a 10 cm de diámetro en 20% y rocas en 5%, tanto en el perfil como en su superficie. Tienen buena capacidad de retención hídrica y una velocidad de infiltración moderada. La fertilidad natural de los suelos varía de media a alta.

Asociación Huisamarca (Hu) – Afloramientos Líticos: Está constituida por suelos de textura gruesa: Arena Franca, superficiales a muy superficiales, provenientes de material coluvio aluvial derivados de rocas volcánicas. Su topografía es ondulada con pendientes empinadas a muy abruptas que varían de 25 % hasta mayores de 75%. El drenaje es bueno a algo excesivo. El escurrimiento superficial es muy rápido. Posee una vegetación natural: pastizales naturales alto andinos, se distribuyen entre los 4,100 a más de 4700 msnm. Agrupa suelos que presentan un perfil sin cierto desarrollo genético, tipo AC1CR; superficiales a muy superficiales, de estructura granular fina, media y gruesa, fuerte; con epipedón móllico delgado; un horizonte A1 de 0 cm a 15 cm de espesor, pardo oscuro que descansa sobre un horizonte parental: CR pardo fuerte meteorizado. Tienen buena capacidad de retención hídrica y una velocidad de infiltración rápida, permeabilidad Moderada. La fertilidad natural de los suelos varía entre baja a media.

Capacidad de Uso Mayor de las tierras

La Evaluación de las Tierras de la Unidad Minera (Tecnología XXI, 2013), a través del estudio de sus Suelos a escala 1:25 000, estableció su Capacidad de Uso Mayor ó Aptitud Natural de las Tierras.; en donde se visualiza los diferentes ambientes potencialmente productivos, que han sido definidos de acuerdo al Sistema de Clasificación de Tierras, según su Capacidad de Uso Mayor (D.S 017-2009 – AG).

Las tierras de la Unidad Minera son Tierras de Aptas para Pastos y Tierras de Protección, debido a sus condiciones naturales: clima muy frío, pendientes empinadas a pendientes muy abruptas, suelos superficiales a moderadamente profundos, con un relieve topográfico ondulado y en algunos sectores de relieve muy accidentado. En general estas tierras actualmente, se encuentran cubiertos por una vegetación natural: Pastos naturales alto andinos.

Uso de la tierra

La zona donde se ubica la unidad minera se encuentra ocupando geoambientes altoandinos, localizados por encima de los 4 100 msnm hasta los 4 750 msnm. Las zonas de vida que corresponden a: Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical y Tundra muy Húmeda- Subtropical, caracterizada por un clima muy severo, con temperatura que oscila entre los 3°C y 6°C en promedio, en las que se presentan temperaturas de congelación, además de nevadas y granizadas. A dicha formación se relaciona la presencia de una

vegetación natural típica de pajonales de puna y en algunos sectores adyacentes la presencia de pastos hidrofiticos que ocupan los denominados “bofedales”.

En las zonas adyacentes más bajas existe una actividad agrícola mínima, mayormente de subsistencia en base a cultivos denominados criofíticos: tubérculos andinos como la papa, olluco, mashua, desarrollados en aquellas tierras con buena profundidad de suelos y en las laderas abrigadas de la zona.

El uso de la tierra en el ámbito del proyecto, está referido principalmente a la producción de pastos naturales altoandinos, predominantemente herbáceo, de tipo gramial. Se distinguen tres formaciones: pajonales, césped de puna e hidrofiticos.

e. Hidrografía

En el área de influencia indirecta de la Unidad Minera, específicamente en la zona noroeste se ubican las nacientes del río Chihumcalla, el cual nace entre las lagunas Patacocha y Pistoro, entre los cerros Punco, Condori y la pampa Chunahuiyoc a 4 615 msnm. Escurre sus aguas en dirección de Oeste a este por la quebrada Yahuaymayo hasta el encuentro con la quebrada Aymarilla (Quescamarca), formado de la confluencia de las Quebradas Chanchani (Chonta y Chonta-Millo) y Yanama, las cuales se encuentran en el área de influencia directa de la Unidad Minera; a partir de donde toma el nombre de río Antuyo siguiendo la dirección Noreste hasta la unión con el río Manchoclla, cambiando nuevamente de nombre a río Huataruchi hasta el encuentro con el río Yuracajaja. A partir de este punto toma el nombre de río Chihumcalla siguiendo la misma dirección hasta la entrega de sus aguas al río Santo Tomás, conformante de la Cuenca del río Apurímac, el cual a su vez es conformante de la cuenca del Ucayali que desemboca en el río Amazonas.

Por lo tanto el ámbito de estudio, en forma global, se encuentra en una de las nacientes de la Cuenca del río Apurímac, cuyos mayores aportes se producen por la margen izquierda a través de los ríos Velille, Santo Tomás (en donde este encuentra el Río Antuyo, fuente principal que atraviesa la zona de la Unidad Minera), Vilcabamba, Pachachaca y Pampas. El río Apurímac al unirse con el río Mantaro, forma el río Ene y éste a su vez al confluir con el río Perené forma el río Tambo, que es afluente importante del Ucayali, uno de los principales afluentes del río Amazonas, abarcando una extensión de 9 889,9 Km².

El área hidrográfica que se encuentra dentro del área de influencia directa de la Unidad Minera, comprende un área de 23,1 km² y en forma total, incluyendo el área

hidrográfica indirecta de la quebrada Yahuaymayo, comprende una superficie de 33 Km.² dentro de la cuenca del río Santo Tomás que tiene una superficie de 2 446,4 Km.². Para tener una idea más exacta de la ubicación hidrográfica de la zona a evaluar, describiremos en forma general en que ámbito hidrológico se ubica la misma; así tenemos que el Río Antuyo, se forma de la unión de las quebradas Yahuaymayo y Aymarilla o Quescamarca (formada a su vez por las quebradas Chonta y Yanama zona donde se encuentra la Unidad Minera)

Hidrográficamente, el área del proyecto está ubicada en la divisoria de las microcuencas de las quebradas Chonta (Chonta y Chonta-Millo) y Yanama. Ambas quebradas en su conjunto, tienen una extensión de cuenca que asciende a 23,1 km² y el curso aguas debajo de la confluencia, también denominado Yanama y en otros Quescamarca o Aymarilla, presenta un cauce amplio, el mismo que refleja su régimen irregular y torrencioso a lo largo del año.

Microcuenca de la Quebrada Chonta

Dicha microcuenca tiene una extensión de 16,3 km². Su altitud varía desde 4 150 msnm, en la confluencia con la quebrada Yanama, hasta 4 850 msnm que es el punto más alto del cerro Quellojaja. El eje principal de la quebrada Chonta, que nace sobre los 4 850 msnm, recibe aportes de otras quebradas pequeñas. La quebrada Millo confluye por la margen izquierda a la altitud de 4 350 msnm. El eje principal de la quebrada Chonta tiene una dirección de oeste a este, hasta la confluencia con la quebrada Yanama. La longitud del eje principal hasta dicho punto, es de 9,6 km, con una pendiente promedio de 7,3%. Las bajas temperaturas del medio, hacen que durante las noches se formen bloques de hielo a lo largo del cauce, modificando en forma horaria el régimen de los caudales. A medida que avanzan las horas, estos bloques de hielo se van derritiendo y consecuentemente los caudales de la quebrada van aumentando.

2.2.2. AMBIENTE BIOLÓGICO

a. Ecología regional

Ecoregión

El área de estudio se encuentra dentro de la Ecoregión Puna (Brack, 2000). Esta región se ubica sobre los 3 800 msnm, su relieve es variado, con alternancia de zonas planas y escarpadas. Constituye un ambiente con dominio de pastos, bofedales y cuerpos de agua de diversas dimensiones.

El clima es muy riguroso y está caracterizado por una fuerte oscilación térmica entre el día y la noche, la temperatura varía entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la temperatura media anual es $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las precipitaciones se dan entre los meses de octubre a abril. Los vientos que pueden llegar a ser fuertes y casi permanentes, contribuyen a enfriar y secar el ambiente en esta región. El período de estiaje real está entre junio a agosto.

Las especies de flora y fauna que viven en estos ambientes han desarrollado adaptaciones de protección contra las bajas temperaturas y extrema sequedad del ambiente.

Zonas de Vida

Según la clasificación desarrollada por Holdridge (1967) quién toma en cuenta principalmente las condiciones climáticas (temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial), a las que suma las características físicas y biológicas del medio, dan como resultado dos formaciones ecológicas con incidencia:

Páramo muy húmedo – Subalpino Subtropical (pmh-SaS)

Esta zona de vida es la de mayor representatividad en el área de estudio, altitudinalmente se encuentra entre los 3 800 a 4 400, es una zona húmeda con temperaturas de 5 a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y precipitaciones que van de 500 a 1 100 mm y la relación de evapotranspiración potencial entre 0,5 y 1,9, La vegetación natural está conformada por los típicos pajonales de puna, con especies importantes desde el punto de vista pecuario. El estrato arbóreo prácticamente está ausente. En esta zona de vida la configuración topográfica es variada, desde suave hasta empinada; En los sectores hidromórficos, conocidos como bofedales, son predominantes y con una cobertura de 90% la juncácea *Distichia muscoides*. También se presentan zonas donde predomina el género *Margyricarpus*, ejemplares de los géneros *Brachiotum* y *Ribes*, entre otros.

Tundra pluvial - Alpino Subtropical (tp-AS)

Se ubica en altitudes promedio de 4 400 a 4 900 se presentan precipitaciones promedio de 850 mm y en función del diagrama de Holdridge, la biotemperatura media oscila entre 3° C y 1,5° C, con temperaturas mínimas medias que alcanzan el punto de congelación, por lo que se presentan heladas, con temperaturas bajo cero. Las relaciones de evapotranspiración potencial inferiores a 0,25; por tanto, la provincia de humedad a la que pertenece es la Superhúmeda. Fisonómicamente, presentan áreas vegetativas muy despobladas, con predominancia de afloramientos rocosos. Las condiciones imperantes impiden el desarrollo vegetativo, y se encuentran plantas pequeñas adaptadas al frío extremo como el ichu (*Stipa ichu*), el crespillo (*Calamagrostis vicunarium*), las plantas almohadillas (*Pycnophyllum molle*), que son especies características de esta zona de vida. Debido a la inaccesibilidad y a las características climáticas, el ser humano no frecuenta áreas de esta zona de vida, pero ella sí representa ambientes de refugio para especies silvestres de fauna como el zorro andino (*Dusicyon culpaeus*), la vizcacha (*Lagidium peruanum*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*).

2.2.3. AMBIENTE SOCIOECONÓMICO

El área de influencia socioeconómica directa de la Unidad Minera se centra en la Comunidad Campesina de Pumallacta, específicamente en los anexos de Acoito (a 10 km de la Unidad Minera) y Pallalla (a 5 km de la Unidad Minera) dentro de la circunscripción del distrito de Quiñota., provincia de Chumbivilcas, donde la población forma centros de organización comunal los cuales se dedican principalmente a la ganadería y agricultura de subsistencia.

La comunidad campesina de Pumallacta se ubica en la región Puna que se encuentra entre los 4 000 y 4 800 msnm, por lo que comprende los pisos ecológicos altoandinos expuestos a las inclemencias de clima con temperaturas bajas. El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas. Debido a esto se dice que es el piso altitudinal de mesetas y lagunas andinas; sin embargo esta zona no es propicia para la agricultura pero sí para la ganadería de pequeña escala.

Según la Modificación del EIA (2013), la comunidad campesina de Pumallacta tiene, a junio de 2009, un total de 190 jefes de familia empadronados, los cuales 100 comuneros viven en el anexo de Acoito, 30 viven en el anexo de Pallalla, 20 viven en

Quinceana, 20 en Chalancito y otros 20 en Tirani. El total de población estimada alcanza a 1 102 habitantes, considerando a familiares de los titulares que figuran en el padrón comunal (cada hogar tiene un promedio de 5.8 personas). Esta cifra comprende una población flotante de miembros de familia que estudian o trabajan por temporadas fuera de la comunidad.

El asentamiento de la población es diferenciada dentro del Área de Influencia Directa de la Unidad Minera, en el anexo de Acoito la población se concentra en el centro poblado de la comunidad donde reside la mayoría de la población de Pumallacta (580 habitantes); en cambio, el anexo de Pallalla, que se ubica en las alturas de la comunidad donde su población se dedica mayormente al pastoreo (sólo cultivan pequeñas cantidades de papa), las familias se dispersan por su territorio sin un centro que las aglomere (viven alrededor de 174 habitantes).

En cuanto a la ocupación principal de las personas que viven permanentemente en casa, los mayores de 15 años, el 35,3% se dedica a estudiar, el 23,5% se dedica a actividades agropecuarias, el 11,8% es ama de casa y el 5,9% es obrero o comerciante.

Cuadro 2: Ocupación principal de personas mayores de 15 años en la Comunidad Campesina de Pumallacta

Ocupación principal	Porcentaje (%)
Estudiante	35.3
Agropecuario	23.5
Ama de casa	11.8
Obrero	5.9
Comerciante	5.9
No sabe/No opina	17.6
TOTAL	100.00

Fuente: Tecnología XXI, 2009

2.2.4. CATEGORIZACIÓN DE LA QUEBRADA CHONTA

La Quebrada Chonta se origina en la confluencia de las quebradas Cacchani y Milo, sus aguas discurre y en su primer tramo toma la dirección noreste y luego cambia en dirección sur-este hasta la confluencia con la quebrada Quescamarca, tiene un recorrido de aproximadamente 3,5 km; siendo de régimen irregular y de flujo permanente.

En el D.S. N°023-2009-MINAM, Artículo 3 - De la asignación de categorías para los cuerpos de agua, menciona que para aquellos cuerpos de agua que no se les haya asignado categoría de acuerdo a su calidad, se considerara transitoriamente la categoría del recurso hídrico al que tributan. Por ello, siendo la quebrada Chonta tributaria del río Chimurcalla o Chihumcalla, afluente al Río Santo Tomás ubicado en la Intercuenca Santo Tomás, la cual constituye parte de la red hidrográfica de la cuenca del río Apurímac; asume la categoría de este último río, que según la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, pertenece a la Categoría 3, Clase 3: Riego de vegetales y bebida de animales. El río Apurímac es afluente principal del Río Ucayali, el cual llega a ser afluente del Río Amazonas (Tecnología XXI, 2009).

Que según el artículo 138° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto supremo N° 001-2010-AG, para el otorgamiento de autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, se requiere contar con la opinión técnica de la autoridad ambiental sectorial. Según el Informe Técnico N° 315-2010-ANA-DGCRH/LCHC, mencionada en la Resolución Directoral N° 112-2010-ANA-DGCRH, emitió opinión técnica favorable respecto a la autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas, específicamente en los siguientes puntos de control: (a) QCH-A: Punto de vertimiento del efluente del Botadero de Desmonte, en la Quebrada Chonta (8 400 003 Norte, 793 733 Este), (b) QCH-B: Quebrada Chonta, aguas arriba a 100 m del punto QCH-A (8 399 932 Norte, 793 681 Este) y (c) QCH-C: Quebrada Chonta, aguas abajo del punto QCH-A (8 400 082 Norte, 793 782 Este).

Como se especifica en la Resolución Directoral N° 112-2010-ANA-DGCRH, en el referido Informe Técnico se precisa, respecto a la clasificación del cuerpo receptor (Quebrada Chonta) que éste se encuentra dentro de la Categoría 3: "Riego de vegetales y bebida de animales" de los ECA – Agua, según lo establecido por la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA.

Para fines de la presente investigación, se consideraron además las categorías 1a-Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección y categoría 4-Conservación del ambiente acuático; con el fin de abarcar las inquietudes que la población cercana a la unidad minera pudiese tener. La consideración de la categoría 1a responde a la preocupación de la población sobre la inocuidad del agua en caso fuese ingerida; mientras que la categoría 4 responde a la preocupación por los ecosistemas acuáticos identificados durante la elaboración de la línea base de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto, además de la existencia de bofedales aledaños a la zona.

2.3.DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA Y DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ESTUDIO

La unidad minera se encuentra ubicada en el Distrito de Quiñota, Provincia de Chumbivilcas, Departamento de Cusco, donde se ejecutan actividades de exploración y explotación de proyectos mineros en la concesión minera jade VII, localizada entre los cerros Huisamarca y Quelloacirca, en la Comunidad Campesina de Pumallacta. En la unidad minera se contempla la explotación y beneficio de minerales de oro y plata, con el método de minado a tajo abierto, lixiviación en pila, recuperación de metales en Planta *Merrill Crowe*, refinería y fundición. Tiene reservas de 7 982 185 TM de mineral extraíble, con producción estimada de 10 000T/día de mineral y vida total de 8 años hasta la etapa de cierre.

Para su desarrollo demanda recursos hídricos de fuentes de agua muy próximas a la unidad minera, destinados al procesos productivo y al abastecimiento del campamento minero, siendo el ámbito de influencia hídrica la Quebrada Yahuarmayo con una extensión aproximada de 60,91 km² del cual forman parte las quebradas Yanama y Chonta (Tecnología XXI, 2013).

El vertimiento en estudio proviene del Botadero de Desmonte de la unidad minera. El agua de precipitación que se infiltra en el área expuesta del Botadero fluye aguas abajo y lateralmente hacia el fondo de los drenajes donde descarga el flujo de agua superficial. Esta agua, por estar en contacto con cuerpos mineralizados, se caracteriza por su bajo pH y elevado contenido de metales disueltos, motivos por los cuales dicho vertimiento es tratado antes de su descarga al cuerpo receptor (ANA, 2010).

El sistema de tratamiento del vertimiento proveniente del botadero, cuenta con dos líneas de tratamiento, dispuestos en serie: (1) sedimentación y (2) neutralización con lechada de cal. El desmonte se dispone en este tipo de instalaciones, las cuales cuentan con una base impermeabilizada para evitar la percolación de aguas pluviales, contando con canales de conducción y poza de recolección. Además cuenta con dos pozas de sedimentación y adición de cal para neutralizar el pH ácido mediante un dosificador (Hygeomin, 2013).

2.3.1. CONDICIONES GENERALES DEL BOTADERO DE DESMONTE

El Botadero de desmonte está ubicado al suroeste del Tajo, extendiéndose sobre un área aproximada de 202 000 m², y diseñado para almacenar hasta 5 800 000 ton (2 500 000 m³).

En base a las consideraciones geotécnicas el Botadero ha sido diseñado con taludes globales de una inclinación media de 2,5H: 1V. La acumulación de los desmontes en el Botadero se realiza en bancos de 8 m de altura, con superficies planas y banquetas (retiros), intermedias entre capas de 9,4 m de ancho. La configuración de cada capa se ha desarrollado asumiendo que el material de desmonte se apilará con su ángulo de reposo de 1,3H: 1V y que cada capa tendrá un retiro tal que permita obtener el talud global indicado líneas arriba. (Hygeomin, 2013).

Además, para una adecuada operación del Botadero de desmonte se consideró la construcción de una berma de protección en el pie del botadero (para la infiltración en toda el área del Botadero), una Poza para monitoreo de la calidad de agua de infiltración y un sistema de colección de efluentes.

A continuación se presentan los criterios que se tomaron en cuenta para la construcción y operación del Botadero de desmonte.

Cuadro 3. Criterios de diseño

Botadero de desmonte	Unidad	Criterio Usado	Fuente
Capacidad	TM	7 200 000	A
Tiempo total de operación	años	3	A
Características del desmonte			
Humedad	%	2,0	D
Densidad del desmonte	T/m ³	1,8	D
Sistema de transporte			
Método de transporte	Camiones		A
Capacidad de los camiones	m ³	22	A
Parámetros de diseño del botadero			
Periodo de retorno del terremoto de diseño	años	500	C
Evento sísmico de diseño ²	g	0,34	C
Coefficiente sísmico		0,17	C

Botadero de desmonte	Unidad	Criterio Usado	Fuente
Estabilidad estática corto plazo, mínimo	F.S.	1,3	C
Estabilidad estática largo plazo, mínimo	F.S.	1,4	C
Estabilidad pseudo-estática, mínimo	F.S.	1,0	C
Análisis de deformación ³	si FS Pseudo-estático < 1,0	C	B,C
Revestimiento del botadero	S/N	No	B
Sistema de colección de efluentes	S/N	Sí	C
Tipo de sistema de colección de efluentes	gravedad/bombeo	Gravedad	C
Poza de colección de efluentes	S/N	Sí	C
Sistema de revestimiento poza de colección	simple/doble	Simple	C
Revestimiento poza de colección	tipo	HDPE	C
	textura	Lisa	C
Espesor revestimiento	mm	1,5	C

Código Fuente

Descripción

- A Información o Criterio proporcionado por empresa minera
- B Práctica Industrial Estándar
- C Recomendaciones de Vector Perú S.A.C.
- D Criterios a partir de Cálculos de Proceso

Fuente: Hygeomín Perú, 2013

2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE

a. Material dispuesto en el Botadero de Desmonte

El material dispuesto en el Botadero de Desmonte es el material de mina estéril o mineral de baja ley, es decir, con una ley de mineral que se encuentra por debajo del nivel económico, conocido en minera como Cut Off, el cual se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina, o que es obtenido como material de desbroce para acceder al mineral.

Este material al estar en contacto con el medio ambiente y almacenar agua producto de las precipitaciones podría reaccionar y generar aguas ácidas, que al infiltrarse al suelo

podrían afectar el agua subterránea o manantiales en la zona circundante, motivo por el cual son interceptadas antes de su contacto mediante un sistema de subdrenajes. (Hygeomin, 2013).

b. Generación del efluente en el Botadero de Desmonte

La escorrentía produce un efecto erosivo sobre el material del Botadero de desmonte, pudiendo aumentar la concentración de sedimentos a los cuerpos de agua, producto del arrastre de sedimentos en época de lluvia. Además, la exposición de los metales en el agua puede alterar su calidad, provocando el aumento de la acidez y de la concentración de metales disueltos. Por este motivo, las aguas de escorrentía y subdrenaje son tratadas antes de su vertimiento para minimizar su impacto ambiental. El efluente del Botadero de desmonte está compuesto por el agua de escorrentía superficial y el de los subdrenajes. (Hygeomin, 2013).

c. Descripción del efluente del Botadero de Desmonte

Corresponde al efluente generado por la oxidación de minerales sulfurados depositados en el Botadero de desmonte, producido principalmente por la pirita, el cual, en presencia de agua, aire y/o bacterias que se alimentan de minerales sulfurosos, dan lugar a la formación de ácido sulfúrico. Estas aguas en ocasiones pueden atacar otros minerales, produciendo soluciones que pueden acarrear elementos tóxicos al ambiente, como Cadmio, Arsénico etc.

La descarga de estos efluentes puede producir algunos efectos, desde decoloración local de suelos y drenajes con precipitación de óxidos de hierro, o hasta llegar a contaminar sistemas de agua superficial y subterránea.

Para evitar la probable contaminación del agua subterránea o manantiales próximas al área de operación, debido a la infiltración del agua de precipitación a través del Botadero de desmonte al subsuelo, se implementó un sistema de interceptación y colección de dicho efluente para su tratamiento y devolución al cuerpo receptor (Quebrada Chonta). (Hygeomin, 2013).

d. Sistema de Tratamiento del efluente del Botadero de Desmonte

El tratamiento se fundamenta en un método activo, el cual consiste de un sistema físico químico mediante la sedimentación y la lechada de cal, siendo una de las ventajas de

dicho proceso la optimización del uso de espacios y recursos, siendo a su vez de fácil operación.

El sistema de tratamiento del efluente del Botadero de desmonte trata los efluentes que inicialmente son captados por el Sistema de subdrenaje, el cual conduce a una cámara de equalización horizontal de 6.85 m³ de volumen, que tendrá como función principal homogenizar el efluente y derivarlos por gravedad por una tubería de 04 pulgadas de diámetro de HDPE hacia un tanque circular, el Dosificador de Cal, el cual tiene 10.03 m³ de volumen, en la parte alta de este tanque se encuentra un sistema para dosificar el Óxido de Calcio (CaO) también en la parte alta se encuentra un Motoreductor, que tiene el objetivo de mezclar las aguas del Botadero con el Óxido de Calcio. Esta solución homogenizada mediante rebose se traslada a un contenedor de precipitación, donde en la parte superior cuenta con una conexión para evacuar el efluente tratado hacia la Poza de Sedimentación N° 1, de 1090 m³, revestida con geomembrana. Luego el efluente tratado es transportado por un canal empedrado hacia la Quebrada Chonta.

Por otro lado, la escorrentía superficial es conducido a través de los canales de coronación del Botadero de desmonte, para luego desembocar en la Poza de Sedimentación N° 2, en donde solo atraviesa por un proceso de sedimentación, para luego pasar por un canal empedrado, y finalmente desembocar en la Quebrada Chonta. (Hygeomin, 2013).

A continuación se detalla la descripción de las instalaciones del Sistema de Tratamiento:

Dosificador de Cal

El sistema de adición de lechada de cal consiste de un contenedor de 10.03 m³, donde se homogeniza la mezcla con un moto reductor Coaxial, de 10.0 HP de Potencia y 1750 RPM de velocidad; este motoreductor se encuentra unido a un eje excéntrico, que tiene como objetivo mezclar las aguas del Botadero con el Óxido de Calcio. El Tanque Agitador mezclador de Cal está construido con planchas de 1/4" de espesor y de material A 36, teniendo las siguientes dimensiones: 2.54 m de altura y 2.87 m de diámetro. La proporción de dosificación es 1kg de cal por cada 2 horas. Al otro extremo del tanque circular hay una tubería de salida de 4 pulgadas que conecta a un sedimentador pequeño de 2.98 m³ que por rebalse evacua el efluente hacia la Poza de Sedimentación N° 1. (Hygeomin, 2013).

Poza de Sedimentación N° 1

El agua que es captada a través del sistema de subdrenaje, es conducida a un único punto de descarga. El caudal promedio que se considera generar en el Botadero de desmonte durante la etapa de operación y cierre asciende a un caudal promedio de 1.76 L/s. Esta Poza colecta únicamente el efluente de los subdrenes, y luego de realizado el proceso de sedimentación, sirve como acumulador del lodo generado. Los lodos son bombeados a una poza temporal donde se deshidratan, y luego, durante la temporada de estiaje, son trasladados hacia el Botadero para su encapsulamiento.

Dicha Poza esta revestida con geomembrana HDPE de 1.50 mm el cual tiene una capacidad de 1090 m³. El agua clarificada es vertida a la Quebrada Chonta mediante un canal que va desde Poza de sedimentación N° 1 hasta la descarga al cuerpo receptor. El canal tiene las siguientes dimensiones: 0.80 m de ancho, 0.70 m de alto y 220 m de largo. (Hygeomin, 2013).

Poza de Sedimentación N° 2

El agua de escorrentía superficial captada por los canales de coronación es dirigida a esta Poza. La cual tiene un volumen de 970 m³ y descarga en el mismo canal que la Poza de Sedimentación N° 1, la cual está hecha de mampostería, sin ningún tipo de revestimiento.

El objetivo principal del Sistema de Tratamiento es la supresión de la acidez y la precipitación de los metales. Para ello actúan cambiando las condiciones de pH del efluente El funcionamiento operativo de un sistema de tratamiento activo se basa en varios pasos parciales fundamentales:

- Neutralización de la acidez mediante lechada de cal (ajuste de pH).
- Sedimentación y posterior descarga del agua clarificada.
- Retiro, almacenamiento temporal para deshidratación y disposición final de lodos de compuestos secundarios de metales pesados, producto de la sedimentación.
- Conducción de las aguas tratadas hacia el cuerpo receptor.

El agua, contaminada principalmente por minerales suspendidos y metales pesados solubles por razón de un pH bajo, está sometida a la neutralización de su acidez por el añadido de óxido de calcio (CaO). Se debe asegurar una buena circulación y distribución del influente dentro del sistema, con el fin de maximizar el tiempo de contacto entre el flujo de agua contaminada con los elementos y materiales que componen el

dispositivo. Posteriormente, el agua es conducida hacia la poza de sedimentación donde los sólidos son sedimentados, de esta manera se logra iniciar la fase de sedimentación. El cálculo de la velocidad de sedimentación por gravedad en la poza se relaciona al tamaño de las partículas suspendidas, este fenómeno físico en el que las partículas suspendidas en un cuerpo de agua estancado siguen sedimentando se da por la atracción gravitacional de la tierra; por lo tanto este hecho conduce a que la densidad de las partículas suspendidas disminuye con la altura de la capa de agua en el cuerpo de agua en su totalidad. De esta manera la clarificación en la poza de sedimentación y el tiempo de retención de las aguas nos garantizan la calidad de los efluentes de las aguas tratadas, de esta forma se espera obtener una calidad de agua que cumpla con los LMP. (Hygeomin, 2013).

Los lodos de las pozas de sedimentación son descargados periódicamente, teniendo excepciones cuando las precipitaciones pluviales son constantes saturan las pozas con lodos evitando así un buen tiempo de retención, en estas excepciones se realiza una poza temporal donde es bombeados los lodos y así retomar el tiempo de retención, esta poza temporal se deshidrata por factores naturales para posteriormente durante el período de estiaje, transportar estos lodos al botadero donde se realiza la disposición final por encapsulamiento de los mismos, cubriendo los lodos por capas de tierra estéril del lugar, hasta encapsularlo, para luego impermeabilizar con una cobertura de arcilla. Este proceso es en forma manual.

Finalmente la evacuación de las aguas tratadas son derivadas por rebose a un canal empedrado con una pendiente entre 2% a 5%. (Hygeomin, 2013).

e. Descarga del efluente luego del tratamiento

La descarga del efluente tratado se hará en la Quebrada Chonta, el cual desemboca en el Rio Chimuncalla, perteneciente al Rio Santo Tomas - Intercuenca Alto.

Se ha estimado que la descarga de aguas residuales procedente del Botadero de desmonte será un caudal promedio de 1.76 L/s equivalente a un volumen anual de 55 000 m³/año, estando prevista las mayores descargas durante los meses de febrero y marzo del orden de 4.87 L/s y 4.74 L/s respectivamente (periodos de precipitación) y las menores descargas durante los meses de agosto y setiembre de 0.43 L/s y 0.44 L/s respectivamente (periodos de estiaje) tal como se detalla en el siguiente cuadro: (Hygeomin, 2013).

Cuadro 4. Descarga del efluente del Botadero de Desmonte

Vertimiento	Unidad	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Botadero de desmonte	L/s	3.41	4.87	4.74	2.61	1.17	0.56	0.46	0.43	0.44	0.53	0.62	1.32	1.76
	m ³	9133	11782	12696	6765	3134	1452	1232	1152	1140	1372	1607	3535	55000

Fuente: Hygeomin Perú, 2013

e.1. Ubicación de la salida del efluente

La ubicación del punto de salida del efluente luego de pasar por el sistema de tratamiento esta denominada como QCH-AA, estando dicho dispositivo a la salida del Sedimentador 2 del Sistema de tratamiento del efluente del Botadero de desmonte (793560 E, 8399523 N, altitud 4392 msnm)

Cuadro 5. Información del Efluente a la salida del Sistema de tratamiento

Código	Descripción de la ubicación del efluente	Caudal promedio (L/s)	Volumen anual (m3)	Coordenadas UTM de la salida de la PTAR		Altitud (msnm)	Régimen	Cuerpo Receptor
				Este	Norte			
QCH-AA	A salida del sistema de tratamiento-Botadero de Desmonte	1.76	55000	793560	8399523	4392	Intermitente	Quebrada Chonta

Fuente: Hygeomin Perú, 2013

e.2. Ubicación de descarga del vertimiento y estaciones de monitoreo en el cuerpo receptor - Quebrada Chonta

La ubicación del punto de descarga del vertimiento en el cuerpo receptor esta denominado como QCH-A, en la Quebrada Chonta.

La ubicación del punto de monitoreo denominado QCH-B es aguas arriba de la descarga del efluente tratado, en la Quebrada Chonta

La ubicación del punto de monitoreo aguas abajo del punto de descarga del vertimiento tratado, denominado QCH-C a la Quebrada Chonta

Cuadro 6. Información de las estaciones de monitoreo en el cuerpo receptor

Código de los puntos de control	Descripción del punto de control	Ubicación del punto de control	Caudal (L/s)	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud	Régimen	Cuerpo Receptor
				Este	Norte			
QCH-A	Vertimiento del efluente tratado proveniente del Botadero de desmonte	En la Quebrada Chonta	1.76	793503	8399638	4348	Intermitente	Quebrada Chonta
QCH-B	Punto de Control aguas arriba del Cuerpo Receptor	Qda. Chonta aguas arriba del punto de descarga del vertimiento	62.3	793681	8399932	4354	Continuo	Quebrada Chonta
QCH-C	Punto de Control aguas abajo del Cuerpo Receptor	Qda. Chonta aguas abajo del punto de descarga del vertimiento	64.06	793782	8 400 082	4344	Continuo	Quebrada Chonta

Fuente: Hygeomin Perú, 2013

A continuación se presenta fotos de las estaciones descritas.

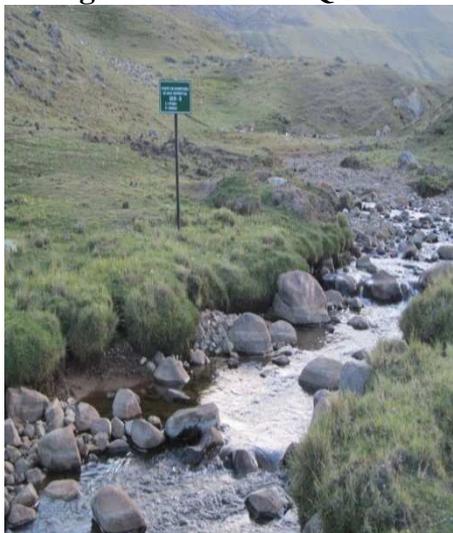
Figura 3. Estación QCH-A



DESCARGA DEL
VERTIMIENTO DEL
BOTADERO ANABI (QCH-A)

Fuente: Hygeomin Perú, 2013

Figura 4. Estación QCH-B



CUERPO RECEPTOR AGUAS
ARRIBA DEL PUNTO DE
VERTIMIENTO PROVENIENTE
DEL BOTADERO ANABI (QCH-B)

Fuente: Hygeomin Perú, 2013

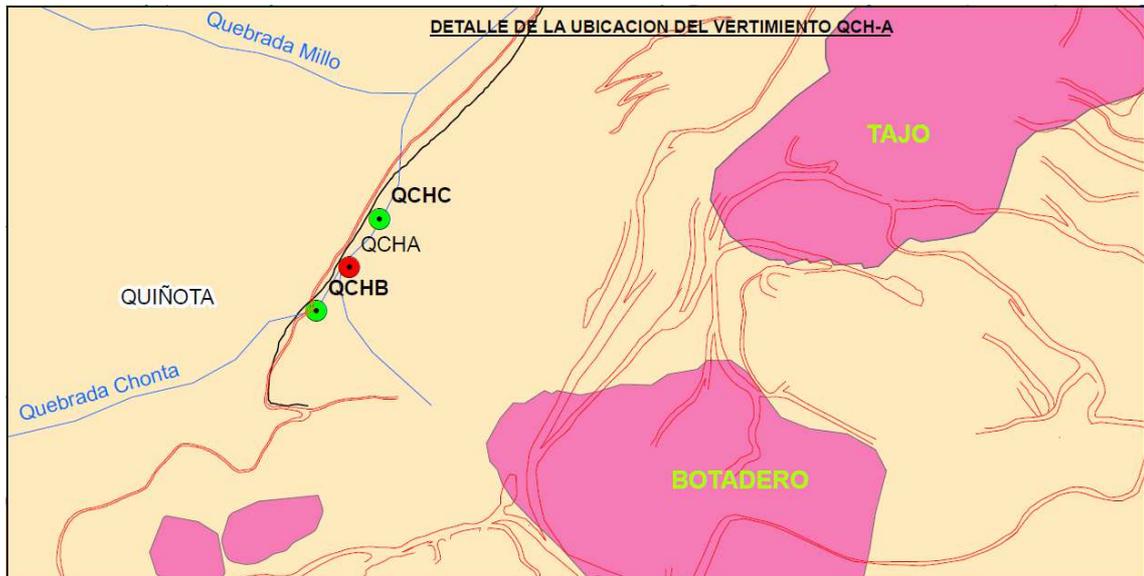
Figura 5. Estación QCH-C



CUERPO RECEPTOR AGUAS
ABAJO DEL PUNTO DE
VERTIMIENTO PROVENIENTE
DEL TAJO ANABI (QCH-C)

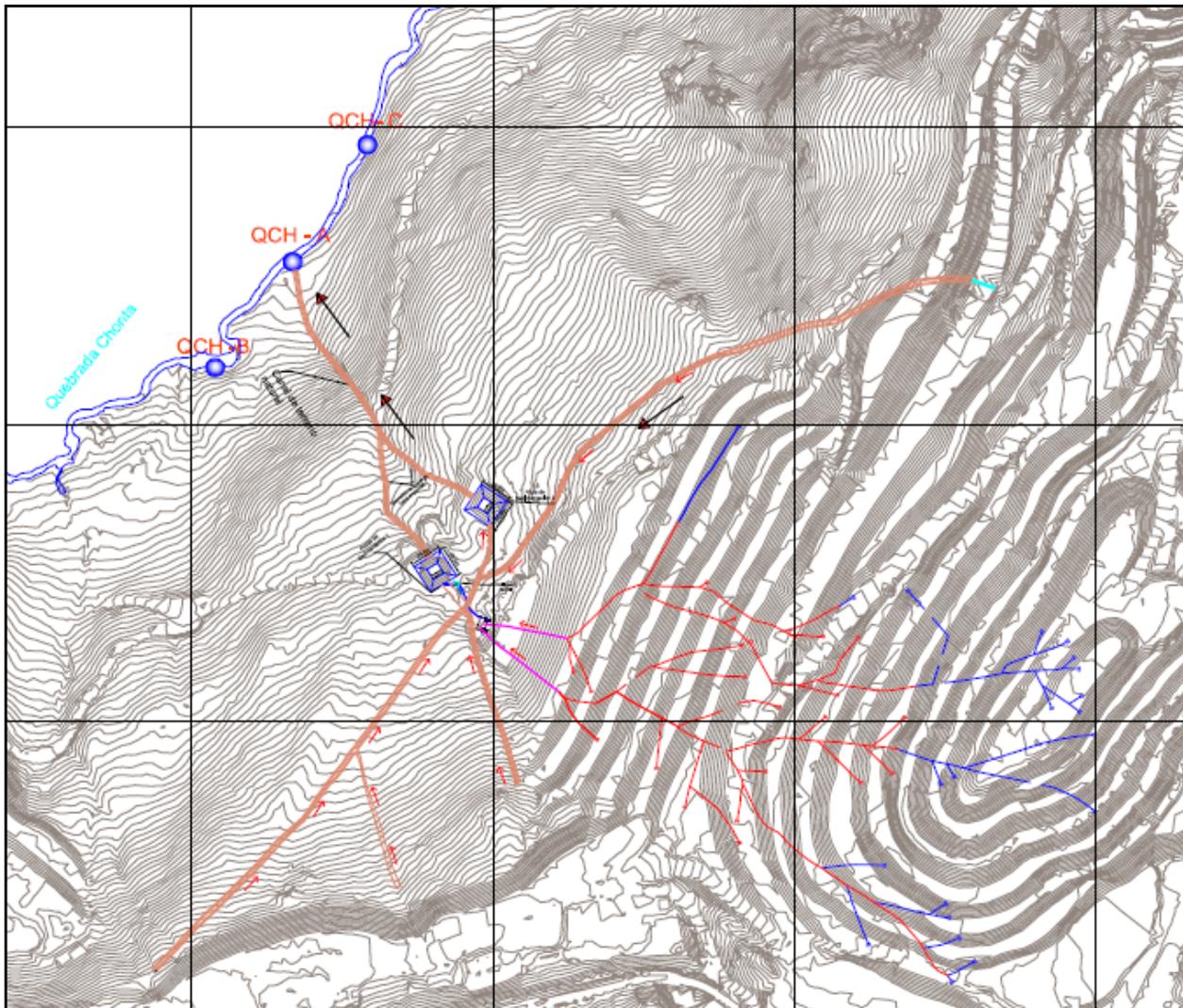
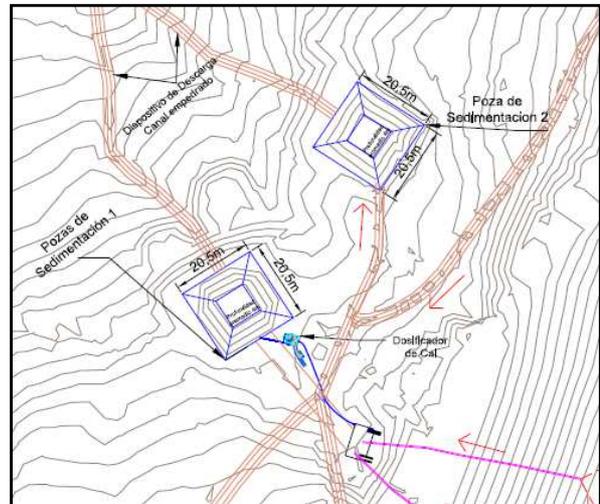
Fuente: Hygeomin Perú, 2013

Figura 6. Ubicación de las estaciones de monitoreo en la Quebrada Chonta



Fuente: Hygeomin Perú, 2013

Figura 7. Sistema De Tratamiento de las aguas residuales provenientes del Botadero de Desmonte



Fuente: Hygeomin Perú, 2013

2.4.GENERALIDADES DE MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

La variedad de modelos de dispersión disponibles en el mercado es muy amplia. Algunos son de libre disponibilidad y otros propietarios. Algunos son de propósito general y otros son muy específicos para modelar un problema específico como el comportamiento de la pluma de la descarga o una sustancia específica como pesticidas o Demanda Bioquímica de Oxígeno (MINEM, 2007).

A continuación un listado de los principales modelos aplicados en estudios mineros: HSCTM2D, QUAL2K, RUSLE2, SERAFM, Visual Plumes, WASP, WHATIF, AQUATOX, CORMIX, EDP-RIV1, FESWMS.2VH, PHREEQC, MINTEQA2.

2.4.1. MODELO HIDRODINÁMICO DE ZONA DE MEZCLA – CORMIX (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM)

Sistema de software comprensivo para el análisis, predicción, y diseño de salidas de zona de mezcla, resultado de la descarga de agentes contaminantes líquidos en diversos cuerpos de agua. Contiene modelos matemáticos además de interfaces inteligentes para la creación y diseño de modelos de descargas (Merizalde, 2008).

La versión inicial del CORMIX era capaz del modelamiento de descargas de un solo puerto y multipuertos en ambientes estancados o fluidos, uniformes o estratificados.

El modelo ha sido significativamente extendido, inicialmente por la adición configuraciones de descarga superficial, luego por la adición de descargas densas a partir de plataformas de extracción de petróleo y descargas de salmueras de plantas desalinizadoras (Rodi y Uhlmann, 2012).

El CORMIX está enfocado en el asesoramiento del impacto ambiental y las medidas de regulación. Se desarrolló bajo algunos acuerdos de cooperación financiera entre la U.S. EPA, la oficina de recuperación de los Estados Unidos, la Universidad de Cornell, el Instituto de post grado de Oregón, la Universidad del Estado de Karlsruhe, la Universidad de Portland, y MixZon Inc. durante el período 1985-2007 (Merizalde, 2008).

El énfasis principal del sistema está en predecir la geometría y las características de la dilución inicial, tanto como la conformidad con las regulaciones de calidad de agua con las que son medidas los vertidos, también predice el comportamiento de la pluma de la

descarga en grandes distancias. El CORMIX contiene 4 modelos base de simulación hidrodinámica y 2 modelos de la simulación de post-procesamiento:

- Modelo de simulación para descargas simples o un solo difusor (CORMIX1).
- Modelo de simulación para multipuertos o varios difusores sumergidos (CORMIX2).
- Modelo de simulación para descargas en superficie flotantes (CORMIX3).
- Modelo de simulación para densidades muy altas y/o descargas de sedimento de un solo difusor, multidifusores sumergidos, o descargas en superficie laterales dentro de ambientes costeros no limitados (DHYDRO).
- Modelo de simulación de Post-procesamiento para detalles de zona de mezcla cercana para un solo difusor sumergido y difusores múltiples en ambientes no limitados (CORJET).
- Modelo de simulación de Post-procesamiento para análisis de plumas a grandes distancias (FFL).

La metodología básica del CORMIX permite hacer predicciones detalladas de las condiciones de la zona de mezcla, controlaren conformidad con las regulaciones, e investigar fácilmente el funcionamiento de los diseños alternativos de las descargas sin la necesidad del entrenamiento especializado o extenso en hidrodinámica (Jirka, 1996).

La metodología básica del CORMIX confía en la asunción de ambientes en condiciones constantes. Sin embargo la versión actual contiene rutinas especiales para el uso en ambientes altamente inestable, tales como condiciones de revocación de marea donde ocurre acumulación transitoria y recirculación de agentes contaminantes y los efectos que pueden ocurrir (Calzada, 2011).

El *software* analiza la data para determinar el tipo de descarga involucrado y calcula la apropiada escala de longitud cuyos rangos clasifican el flujo en estudio. Los resultados son usados para generar expresiones algebraicas los cuales hacen predicciones. Dependiendo de la clasificación de flujo, CORMIX elige que ecuaciones de predicción usar. En algunas ocasiones, usa un modelo integral similar a DKHW (un modelo euleriano para plumas individuales y unidas) para la fase inicial del desarrollo de la pluma, y expresiones empíricas algebraicas para el resto. CORMIX ofrece predicciones de amplia gama de condiciones de descarga y configuraciones de difusores. Las versiones más

recientes han extendido su capacidad grafica de modelar y mejorar los cálculos hidráulicos. Debido a la clasificación de flujos en casos discretos, sus predicciones pueden tener discontinuidades y grandes cambios en respuesta de cambios pequeños en parámetros de entrada (Roberts et al. 2010).

La aplicabilidad de utilizar una herramienta matemática, como es el uso de un modelo, no es otra que el de validar técnicamente la información recopilada del vertimiento para la descarga de residuos líquidos en el cuerpo receptor, especialmente si permite considerar y simular diversas situaciones que resultan de interés. El uso de herramientas computacionales para la predicción del comportamiento de una descarga en un cuerpo de agua, es una opción viable y segura, si se comprueba que dicha herramienta es aplicable al medio ambiente que estamos estudiando, y si se extiende su uso. En Estados Unidos se han implementado programas de predicción de plumas que requieren de pocos datos de terreno y se ajustan a varios escenarios de descarga y se han ido perfeccionando sumando a las predicciones, recomendaciones de diseño y despliegues gráficos de las plumas de descarga (Calzada, 2011).

A su vez, el CORMIX tiene un sistema de clasificación de flujo basado en la escala de longitud de análisis del proceso de interacción limítrofe. CORMIX determina la estabilidad de la descarga y el límite del proceso de interacción antes de ejecutar una serie de modelos de flujo regional para completar la simulación en el campo cercano y en el campo lejano. Este programa contiene alrededor de 60 clasificaciones de flujo (Fernando, 2012).

El Ministerio de Medio Ambiente de España, en su Manual para la gestión de vertidos: Autorización de vertido (Dirección General del Agua, 2007), señala que los solicitantes de autorizaciones de vertimiento deben evaluar la incidencia del vertido en el medio receptor. Además, recomienda que la comprobación del cumplimiento de la normativa se pueda valorar a través del uso de Modelos matemáticos de simulación, como el CORMIX.

2.4.2. PROCESOS DE MEZCLA HIDRODINÁMICOS

Según Jirka (1996) es importante distinguir, para trabajos de diseño y predicción de descarga de efluentes, los aspectos físicos de los Procesos de Mezcla Hidrodinámica, que determinan el destino y la distribución del efluente; y el aspecto administrativo de la

Normativa aplicada a la zona de mezcla, el cual intenta prevenir cualquier impacto perjudicial del efluente al ambiente acuático.

El comportamiento de mezcla de cualquier descarga depende de la interacción de: (1) las condiciones del ambiente del cuerpo receptor y, (2) las condiciones de la descarga. (Jirka, 1996)

1. Condiciones del ambiente del cuerpo receptor: descritas por la geometría del cuerpo de agua (forma, secciones transversales verticales y batimetría, principalmente en la vecindad de la descarga) y sus características hidrodinámicas. Estas condiciones suelen considerarse como estados estables con pequeñas variaciones ya que el proceso de mezcla es en orden de minutos
2. Condiciones de descarga: relacionan la geometría (diámetro del puerto, su elevación por encima de la parte inferior y su orientación, etc.) y las características de flujo de la instalación de descarga (por la tasa de flujo de descarga, su *Flujo de momento* (Flujo de impulso) y su Flujo boyante).

El Flujo Boyante representa el efecto de la diferencia de la densidad relativa entre la descarga del efluente y las condiciones del ambiente en combinación con la aceleración gravitacional. Esto es una medida de la tendencia del flujo del efluente en aumento (Flotabilidad positiva) o en descenso (Flotabilidad negativa).

Los Tipos de Flotabilidad: según López, A. (2012) son:

Flotabilidad positiva: consiste en la fuerza que ejerce un objeto dentro de un fluido donde la densidad de este objeto es menor que la densidad del fluido por lo tanto la fuerza de flotabilidad tiene a la emersión del objeto sobre el fluido.

Flotabilidad negativa: consiste en la fuerza que ejerce un objeto dentro de un fluido donde la densidad de este objeto es mayor que la densidad del fluido por lo tanto la fuerza de flotabilidad tiene a la sumersión del objeto sobre el fluido.

Flotabilidad neutra: consiste en la fuerza que ejerce un objeto dentro de un fluido donde la densidad del objeto es igual a la densidad del fluido en cuestión por lo tanto las fuerzas ejercidas por ambos factores se nulifican dejando en reposo estático al objeto.

La hidrodinámica de la descarga continua de un efluente en un cuerpo receptor puede ser conceptualizada como un proceso de mezcla que ocurre en 2 regiones separadas (Jirka, 1996):

1. **Campo cercano:** en esta primera región las características iniciales del Chorro de impulso, Flujo boyante y geometría del desagüe influyen en la trayectoria del chorro y su mezcla. Esta región abarca el flujo del Chorro boyante y su interacción en superficie y fondo. Es en esta región donde se manipula las variables de diseño de los desagües para adecuar las características de mezcla inicial.

Chorro: flujo donde el movimiento está determinado principalmente por las fuerzas advectivas, de inercia (Cantabria, 2009)

2. **Campo Lejano:** conforme la pluma se aleja de la fuente, las características de la misma fuente se tornan menos influyentes. Las condiciones del ambiente pasan a controlar la trayectoria y la turbulencia de la pluma a través de movimientos de propagación boyantes y difusión pasiva debido a la turbulencia del ambiente

En cada región se desarrollan procesos específicos:

- a. Procesos en el Campo Cercano:

- a. **Chorro de mezcla Boyante Sumergido**

El flujo del efluente de un puerto de descarga sumergida proporciona una velocidad discontinua entre el fluido descargado y el fluido del ambiente causando una intensa acción de cizallamiento

Fuerza de cizallamiento (Fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa. También llamado esfuerzo cortante)

El flujo de cizallamiento rompe rápidamente en un movimiento turbulento. El ancho de la zona de alta intensidad de turbulencia se incrementa en dirección del flujo debido a la mayor incorporación del exterior, reduciéndose la turbulencia del fluido en esta zona. De esta manera, cualquier concentración interna (por ejemplo: impulso del fluido o contaminante) del flujo de descarga se diluye por la entrada de agua del ambiente; es decir, los impulsos del fluido y contaminante se convierten gradualmente a difusos.

La discontinua velocidad inicial puede plantearse de diferentes maneras (Jirka, 1996).

En un **Chorro no Boyante** (o *Pure Jet*, o Chorro de impulso), el impulso inicial del flujo tiene la forma de una inyección de alta velocidad la cual causa una mezcla turbulenta. En un Chorro de **Impulso**, el flujo boyante inicial conduce a aceleraciones verticales que luego conducen a una mezcla turbulenta. El *Pure Jet* es una descarga donde solo el impulso inicial del flujo, en la forma de una alta inyección de velocidad, causa una mezcla turbulenta

En el caso de un **Chorro Boyante** (o *Buoyant Jet, Forced Plume*, o Pluma Forzada) la mezcla turbulenta se genera por una combinación del impulso del flujo inicial y el flujo boyante. El *Buoyant Jet* es una descarga donde la mezcla turbulenta es causada por una combinación del **impulso** inicial del flujo y la flotabilidad o **boyancia** del flujo

Además existe el *Pure plume*, el cual es una descarga donde solo la boyancia o flotabilidad inicial del flujo dirige aceleraciones locales verticales para luego generar una mezcla turbulenta

b. Procesos de Interacción Boyante y Estabilidad del Campo Cercano

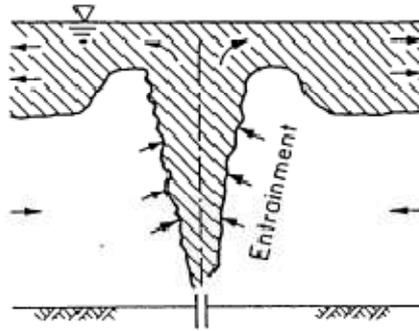
Los cuerpos de agua siempre tienen límites verticales, así como el agua superficial y su profundidad, pero además existen límites internos, como la Pícnoclina, el cual son capas de cambios rápidos de densidad. Las características dinámicas y geométricas del flujo de la descarga determinan una variedad de fenómenos de interacción que podrían ocurrir en tales fronteras, pudiendo ocurrir la captura del flujo.

La Pícnoclina es la capa del agua en donde la densidad del agua cambia más rápido con la profundidad en relación con las capas de agua arriba y debajo de ella. Usualmente una pícnoclina está asociada con un gradiente máximo de temperatura (termoclina) o salinidad (haloclina). La Pícnoclina o Termoclina puede ser diurna (aparece en el día cerca de la superficie), estacional (en las zonas templadas existe de la primavera hasta el otoño en 10-30 m de profundidad) y básica o permanente (en la zona templada esta en 150 – 900 m de profundidad, y en las regiones polares está ausente). La temperatura tiene mayor efecto sobre la densidad del agua que la salinidad. El agua de los océanos se hace más densa a medida que descende la temperatura. Normalmente, en las zonas templadas y tropicales la Pícnoclina impide la circulación vertical entre el agua profunda densa y fría y el agua superior cálida y menos densa. La densidad del agua en la superficie de los océanos es de aproximadamente $1\,027\text{ kg/m}^3$ (Okolodkov, 2010).

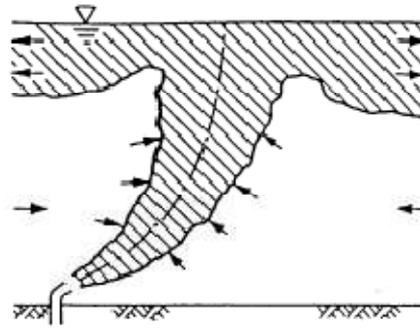
Estos Procesos de Interacción de frontera proporcionan una transición entre los Procesos de Mezcla de Chorro Boyante en el Campo Cercano; y la Difusión Boyante y Difusión Pasiva en el Campo Lejano. Estos Procesos de Interacción de frontera pueden ser procesos de transición y mezcla graduales y leves, o abruptos y vigorosos. También pueden ser influenciados por la estabilidad de las condiciones de la descarga del efluente.

La valoración de la estabilidad en el Campo Cercano es el aspecto clave de análisis de dilución de efluente. Esto es especialmente importante para el entendimiento de la pluma bidimensional resultante de los difusores multipuerto (Figura 3). Las condiciones de una “**Descarga estable**” generalmente ocurren por la combinación de **fuerte dinamismo, impulsos débiles y agua profunda**; denominado como **Condiciones de Agua Profunda** (Figuras 3.a y 3.c). Las Condiciones de “**Descarga inestable**” pueden ser considerados como sinónimo de condiciones de **aguas poco profundas** (Figura 3.b y 3.d). Ocurre cuando un fenómeno de recirculación aparece en la vecindad de la descarga (Figura 4.c y 4.d). Esta recirculación local conduce al arrastre del agua ya mezclada dentro de la región de Chorro boyante.

Figura 8. Ejemplos de Estabilidad del Campo Cercano y condiciones de estabilidad de descargas sumergidas a una profundidad limitada de agua



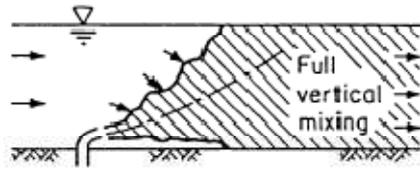
a) Agua profunda, Alta boyancia,
Vertical: Campo Cercano Estable



c) Agua profunda, Alta boyancia,
Lateral Horizontal: Campo Cercano Estable



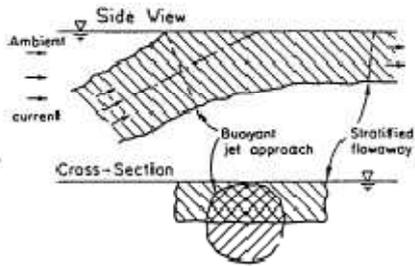
b) Agua superficial, Baja boyancia,
Vertical: Campo Cercano Inestable
con Mezcla local y Reestratificación



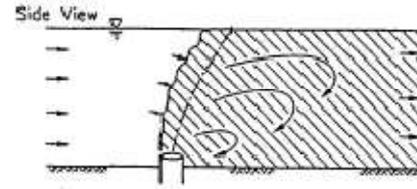
d) Agua superficial, Baja boyancia,
Lateral Horizontal: Campo Cercano
Inestable con Mezcla total vertical

Fuente: Jirka, 1996

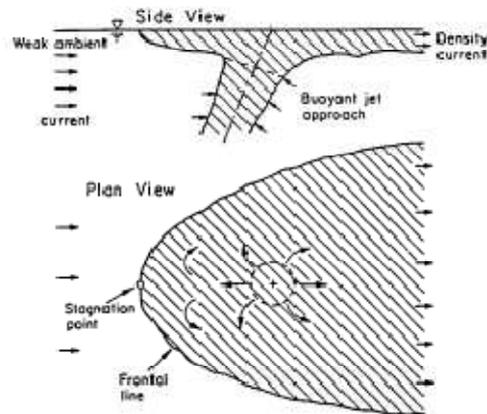
Figura 9. Ejemplos de Interacciones de Frontera para Chorros sumergidos en una profundidad limitada



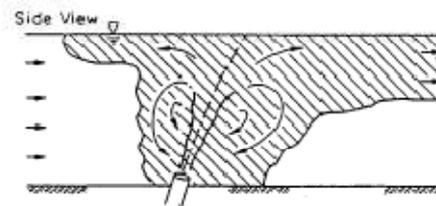
a) Aproximación gradual superficial (Lateral horizontal)



c) Pinzamiento superficial con Mezcla total vertical en Agua superficial



b) Pinzamiento superficial con Esparcimiento boyante aguas arriba



d) Pinzamiento superficial con Mezcla Vertical local, Esparcimiento boyante aguas arriba y Reestratificación

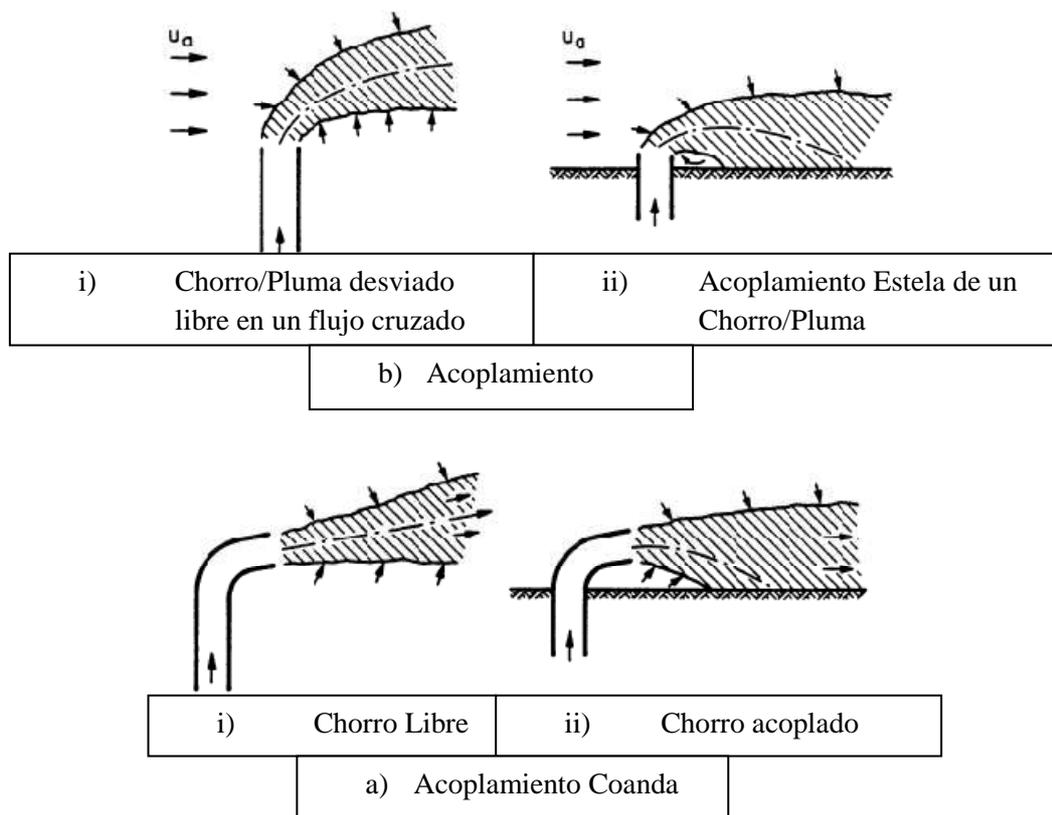
Fuente: Jirka, 1996

Otros ejemplos de interacciones límite de Chorros Boyantes sumergidos a una profundidad determinada, considerando un Chorro boyante inclinado por una transversal de flujo, el cual se acerca gradualmente a la superficie o fondo, se someterá a una mezcla adicional el cual puede tomar alguna de las siguientes formas: (1) si el flujo tiene suficiente

Otros tipos de procesos de interacción (Jirka, 1996) consideran un Chorro Boyante sumergido descargando en la vecindad del fondo del agua dentro de un ambiente estancado. Dos tipos de procesos de interacción dinámica podrían ocurrir para desarrollar un rápido acoplamiento de la pluma del efluente a las profundidades del cuerpo receptor, estos son (Figura 5):

- Acoplamiento Estela (*Wake attachment*): el cual es forzado por el **flujo cruzado** del cuerpo receptor. Es una interacción dinámica de la pluma del efluente con el fondo que es forzado por el flujo cruzado del cuerpo receptor.
- Acoplamiento Coanda (*Coanda attachment*): el cual es forzado por la **demanda de arrastre del chorro del efluente por sí mismo**, debido a efectos de baja presión como la periferia del chorro que está cerca del fondo del agua. Es una interacción dinámica entre la pluma del efluente con el fondo del agua que resulta de la demanda de arrastre del chorro del efluente por sí mismo y es debido a los efectos de baja presión.

Figura 10. Ejemplos de Condiciones del Acoplamiento Estela (flujo cruzado inducido) y Acoplamiento Coanda para chorros que descargan cerca a la frontera



Fuente: Jirka, 1996

c. Mezcla superficial del Chorro Boyante

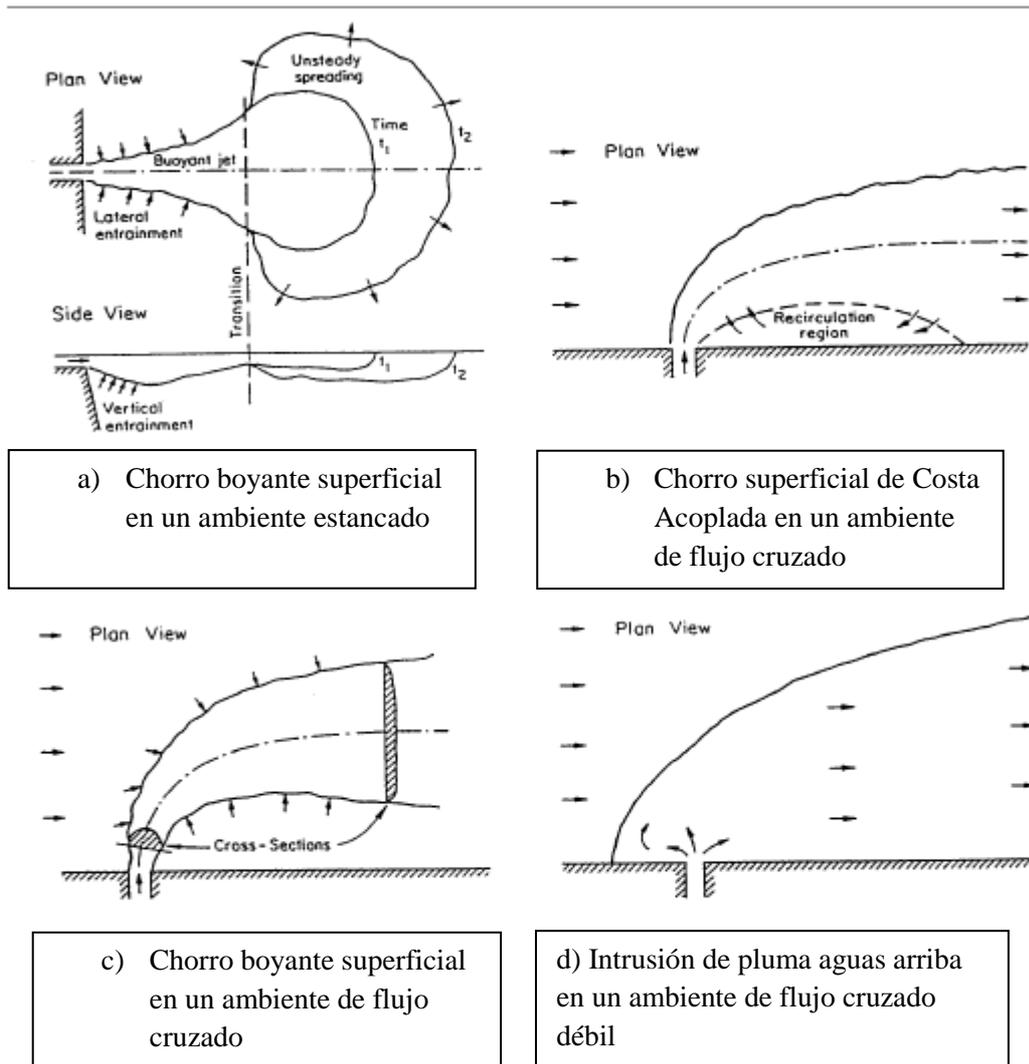
La descarga horizontal del Chorro Boyante a lo largo del agua superficial de un canal de entrada lateral tiene similitudes a la mayoría de clásicos chorros boyantes sumergidos. Por una relativa y corta distancia inicial, el efluente se comporta como una extensión lateral y verticalmente del impulso del chorro debido a la mezcla turbulenta.

Según Jirka (1996) después de esta etapa, el arrastre vertical se inhibe debido a la amortiguación boyante de los movimientos de turbulencia y las experiencias de fuertes dispersiones laterales de chorro. En condiciones ambientales de estancamiento, finalmente, una razonable capa delgada puede ser formada en la superficie del cuerpo receptor; esa capa puede someterse a los movimientos de extensión boyante transitorio (Figura 6.a)

En el caso de presencia de un ambiente de flujo cruzado, el Chorro Boyante Superficial muestra uno de los siguientes tipos de características de flujo:

- Se puede formar un chorro débil desviado que no interactúe con la orilla (Figura 6.b)
- Cuando el flujo cruzado es fuerte, este puede adjuntarse a la frontera aguas abajo formando una pluma en forma de abrazo en la orilla (Figura 6.c)
- Cuando una alta descarga de flujo boyante combinado con un débil flujo cruzado, los efectos de propagación boyante pueden ser tan fuertes que una pluma introducida aguas arriba de forma, manteniéndose también cerca de la orilla (Figura 6.d)

Figura 11. Típicos Patrones de superficie de flujo de mezcla de chorro boyante en condiciones ambientales estancadas o corrientes



Fuente: Jirka, 1996

Efectos del Campo Intermedio (Intermediate Field) por descargas de difusores multipuerto.-

Algunas instalaciones de difusores multipuerto inducen flujos en aguas poco profundas, los cuales se extienden más allá de la región estricta del Campo Cercano. Las plumas resultantes son referidas como *Intermediate Field* ya que interactúan con el cuerpo receptor a distancias mayores que la profundidad del cuerpo receptor (el orden de la magnitud de la profundidad del agua es normalmente usado para definir las dimensiones del Campo Cercano).

El Campo Intermedio puede aparecer cuando un difusor multipuerto representa una larga fuente de impulsos con un relativo efecto débil de boyancia (flotabilidad). Como un

difusor que tendrá un Campo Cercano inestable con condiciones de agua poco profunda o superficial. Para ciertas geometrías de difusores los movimientos fuertes pueden ser inducidos en ambientes de agua superficial en la forma de corrientes verticales mezcladas con el arrastre lateral del agua ambiental, pudiendo extenderse a largas distancias antes que se re estratifique o se disipe su impulso (Jirka, 1996).

b. Procesos en el Campo Lejano

Los procesos de mezcla en el Campo Lejano son caracterizados por la Advección longitudinal del efluente mezclado por la velocidad de la corriente ambiental (Jirka, 1996).

Advección: Proceso por el que los solutos son transportados por el movimiento de la masa de agua (Herrera, I. y Hernández, G., 2007). Se puede representar mediante la Ley de Darcy.

$$Q = AK \frac{dh}{dl} \Rightarrow \frac{Q}{A} = K \frac{dh}{dl} \Rightarrow v_D = K \frac{dh}{dl}$$

Ley de Darcy:

Donde:

- Q : Caudal
- A : Sección
- K : Permeabilidad
- dh/dl : Gradiente hidráulico
- v_D : Velocidad de Darcy

Difusión: Debido a diferencias de concentración se produce incluso en ausencia de movimiento (Herrera et al, 2007). Se puede representar mediante la Segunda Ley de Fick.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Segunda Ley de Fick:

Donde:

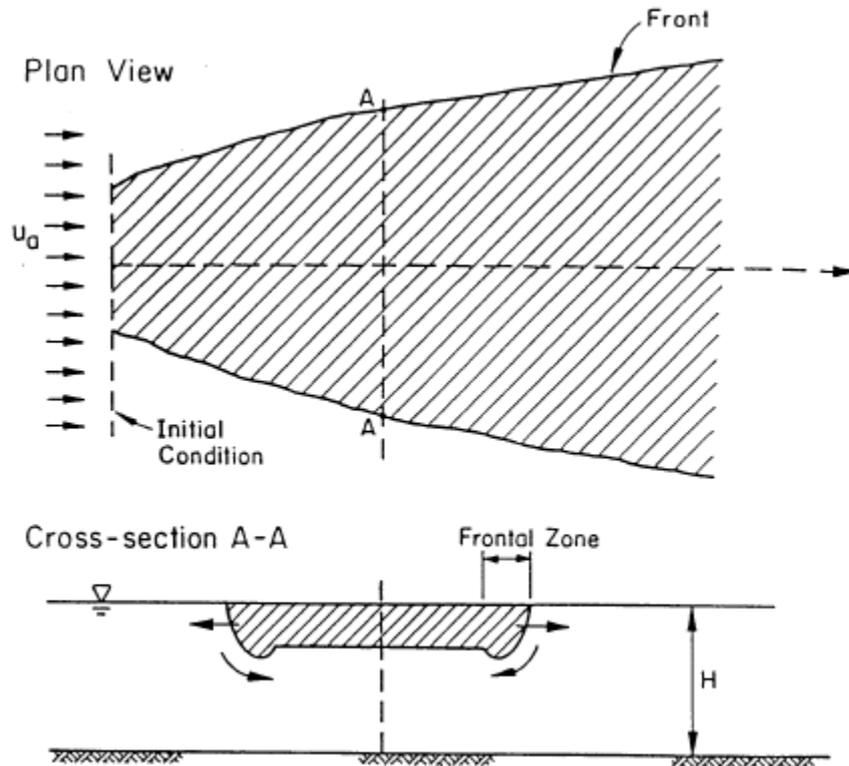
- D* : Coeficiente de difusión
- C : Concentración
- t : tiempo
- x : distancia

a. **Procesos de difusión boyante**

Según Jirka (1996), estos son definidos como difusión transversal horizontal del flujo del efluente mezclado mientras este está siendo llevado hacia aguas abajo por la corriente del ambiente. **Tal proceso de difusión surge debido a las fuerzas boyantes causadas por la diferencia de densidad de flujos mezclados relativos a la densidad ambiental.** Estos pueden ser efectivos mecanismos de transporte que pueden difundir rápidamente un efluente mezclado lateralmente sobre grandes distancias en la dirección transversal, particularmente en casos de fuerte estratificación ambiental. En esta situación, el efluente de considerable espesor vertical en el nivel terminal puede colapsar dentro de una delgada pero muy amplia capa, a menos que esto sea prevenido por límites laterales. Si la descarga es No Boyante o débilmente Boyante, y el ambiente no es estratificado, aquí no hay región de difusión boyante en el Campo Lejano, solo una región de Difusión Pasiva.

Dependiendo del tipo de flujo del Campo Cercano y la estratificación ambiental, muchos tipos de Difusión boyante podrían ocurrir, estos incluyen: (a) Difusión en agua superficial, (b) Difusión en el fondo, (c) Difusión en la interfase interna marcada (Pycnoclina) con un salto de densidad, o (d) difusión en el nivel terminal en un fluido ambiental continuamente estratificado. Como ejemplo, la definición del diagrama y estructura de procesos de Difusión Boyante superficial en tanto aguas abajo de la descarga en flujo cruzado no estratificado es mostrada en la Figura 7.

Figura 12. Procesos de esparcimiento boyante aguas debajo de la región de Campo Cercano (ejemplo de esparcimiento a lo largo de la superficie del agua)



Fuente: Jirka, 1996

El flujo de propagación lateral se comporta como una densidad de la corriente y entrena algunos fluidos ambientales en la "región cabecera" de la corriente. Durante esta fase, usualmente la velocidad de mezcla es relativamente pequeña, el espesor de la capa puede decrecer y una interacción subsecuente con una orilla con una orilla o banco puede impactar los procesos de difusión y mezcla.

b. Procesos de Difusión Ambiental Pasiva

La turbulencia existente en el entorno ambiental (Jirka, 1996) se vuelve mecanismo de mezcla dominante en distancias en distancias suficientemente grandes desde el punto de descarga. En general, el flujo de Difusión Pasiva aumenta en ancho y espesor hasta que éste interactúe.

La fuerza de los mecanismos de Difusión ambiental depende de un número de factores, principalmente relacionados a la geometría del flujo de tensiones ambientales, y del valor de la estratificación ambiental. En el contexto de Teoría de Difusión clásica, la gradiente de procesos de Difusión en flujos limitados de ríos o estuarios estrechos puede

ser descrita por constantes de difusividad en dirección vertical y horizontal que depende de la intensidad de la turbulencia y de profundidad o del ancho del canal como las escalas de longitud. En contraste, amplios e "ilimitados" canales o áreas costeras abiertas son caracterizadas por el tamaño de la pluma dependiente de la difusividad principal para acelerar el crecimiento de la pluma descrita (ejemplo: "Ley 4/3 de difusión"). En la presencia de estratificación ambiental estable, la mezcla difusiva vertical generalmente es fuertemente amortiguada.

2.4.3. DEFINICIONES DE LA ZONA DE MEZCLA

Según Jirka (1996), La Zona de Mezcla es definida como una "Zona de Impacto asignado" donde los criterios numéricos de calidad de agua pueden ser excedidos siempre que las condiciones de toxicidad aguda sean evitadas. Una Zona de Mezcla puede estar pensada como un área o volumen limitada donde la dilución inicial de una descarga ocurra. Las Normas de Calidad de agua se aplican en el límite de las zonas de mezcla, no dentro de las mismas zonas de mezcla.

La Zona de Mezcla es un área donde una descarga de un efluente experimenta una dilución inicial y se extiende para cubrir la mezcla secundaria en el cuerpo de agua ambiental. Una zona de mezcla es una zona asignada de impacto donde los criterios de calidad de agua pueden ser excedidos siempre que las condiciones toxicas agudas sean prevenidos. (U.S. EPA, 1991).

En el establecimiento de requisitos para zonas de mezcla, U.S. EPA requiere que "el área o volumen de una zona individual o grupo de zonas sean limitadas en un área o volumen sea lo más pequeño posible de manera que no interfiera con los usos designados o con comunidades establecidas de vida acuática en el segmento para el cual los usos están designados", y la forma sea "una simple configuración que sea fácil de localizar en un cuerpo de agua y evite el choque en áreas biológicamente importantes" y "las plumas que se aferran en la orilla deban ser evitadas".

Las definiciones especiales de zona de mezcla han sido desarrolladas por la descarga de aguas residuales municipales en la costa del océano, según lo regulado en la Sección 301(h) de la Ley del Agua Limpia (*Clean Water Act*). Frecuentemente, estas mismas definiciones son usadas también para descargas industriales u otras en aguas costeras o grandes lagos, lo que resulta en una pluralidad de terminología. Para esas descargas, la zona de mezcla fueron marcadas como "la zona de dilución inicial" en donde

la rápida mezcla del flujo de agua residual (usualmente la pluma de agua fresca boyante creciente dentro de agua salina ambiental) toma lugar. La U.S. EPA requiere que la “zona de dilución inicial” sea un área regularmente formada (ejem. Circular o rectangular) rodeada de una estructura de descarga (ejem. Tubo sumergido o difusor lineal) que abarque las regiones de altas concentraciones de contaminantes (que excedan los estándares) bajo condiciones de diseño (23). En la práctica, las fronteras que limitan definidas con iguales dimensiones a la profundidad del agua medida horizontalmente desde cualquier punto de estructura de descarga son aceptadas por la U.S. EPA siempre que esto no viole otras restricciones de zona de mezcla.

La Zona de Dilución inicial (Jirka, 1996) es un término que usualmente se usa para describir la Zona de Mezcla para una descarga de aguas residuales, limitado a la extensión de los procesos de mezcla del Campo Cercano.

2.4.4. INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Se debe tener en cuenta que el viento no es importante para la mezcla en un campo cercano, pero puede afectar críticamente el comportamiento de una pluma en el campo lejano. Si no se cuenta con datos disponibles de viento, se puede utilizar un valor recomendado de 2 m/s para representar las condiciones de diseño conservadores. Una velocidad del viento de 15 m/s es el valor máximo permitido en CORMIX (Jirka, 1996).

2.4.5. MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL TRANSPORTE EN CUERPOS DE AGUA

Los cuerpos de agua superficiales sufren una renovación constante debido a la continua entrada y salida de agua, a tasas muy variables dependiendo del tipo de cuerpo. Este transporte de agua está acompañado por el transporte de energía mecánica y térmica (calor) y de sustancias que viajan como suspensiones o en solución (disueltas) (Menéndez, 1992).

a. Contaminación por descargas puntuales

Según Menéndez (2012) las aguas residuales de la actividad humana que son vertidas hacia un curso de agua próximo a través de un canal o conducto pueden producir un impacto sobre la calidad del agua del curso. La dilución de los contaminantes en el curso de agua y su eventual decaimiento a través de procesos físicos (volatilización, depositación) o reacciones químicas, bioquímicas o biológicas conduce, eventualmente, a

la reconstitución de las condiciones originales de calidad del curso de agua a una cierta distancia aguas abajo del vertido.

Si se analiza el proceso de transporte de contaminantes en un curso de agua sobre una escala larga respecto de las dimensiones transversales del curso, puede plantearse un modelo matemático unidimensional. El modelo más simple que puede plantearse para una sustancia **conservativa**, es decir, una que sólo es transportada por la corriente sin sufrir ningún otro proceso que altere la cantidad de masa inyectada, es el siguiente (Jolánkai 1992).

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U \frac{\partial c}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

Donde:

C: concentración media del contaminante sobre la sección transversal

U: velocidad de la corriente

D_L : Coeficiente de dispersión

El coeficiente de dispersión es, desde el punto de vista físico, un coeficiente de difusión, pero se lo denomina así debido a que no sólo involucra procesos de difusión turbulenta, sino también de desparramamiento por el gradiente transversal de la velocidad de la corriente (advección diferencial), tal como se esquematiza en la Figura 8. Puede expresarse como:

$$D_L = e_L f H U \quad (2)$$

Donde:

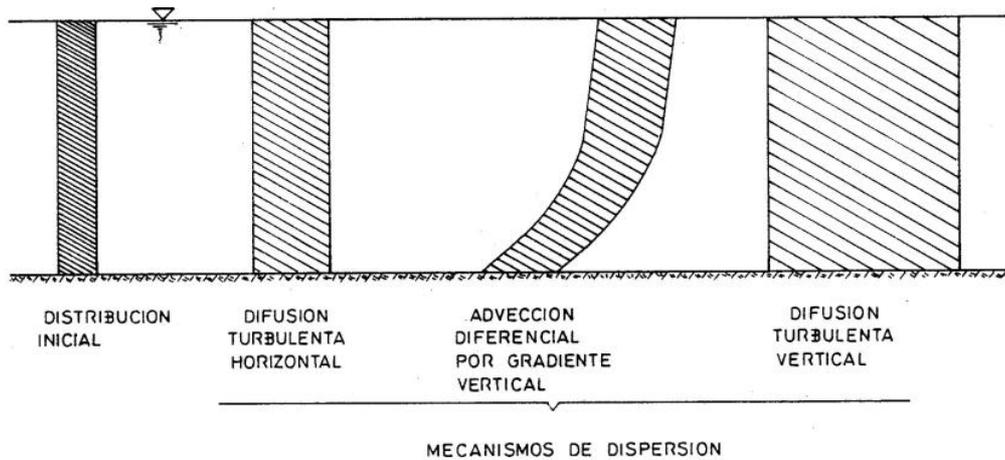
f: coeficiente de fricción

e_L : coeficiente de dispersión adimensional

H: profundidad

El coeficiente de fricción no varía sensiblemente de una situación a otra (es del orden de 0,06). En cambio, el coeficiente de dispersión adimensional puede tomar valores entre 6 y varios miles, dependiendo de las particulares condiciones del curso de agua.

Figura 13. Esquematzación del proceso de dispersión



Fuente: Jolánkai, 1992

La ecuación (1) representa el balance de masa del contaminante. La advección se produce a la velocidad de la corriente, es decir, el contaminante es transportado por las partículas de agua.

Para el caso de un vertido accidental de una masa M de un contaminante (considerado instantáneo y en $x=0$), la ecuación (1) da la solución (Jolánkai, 1992).

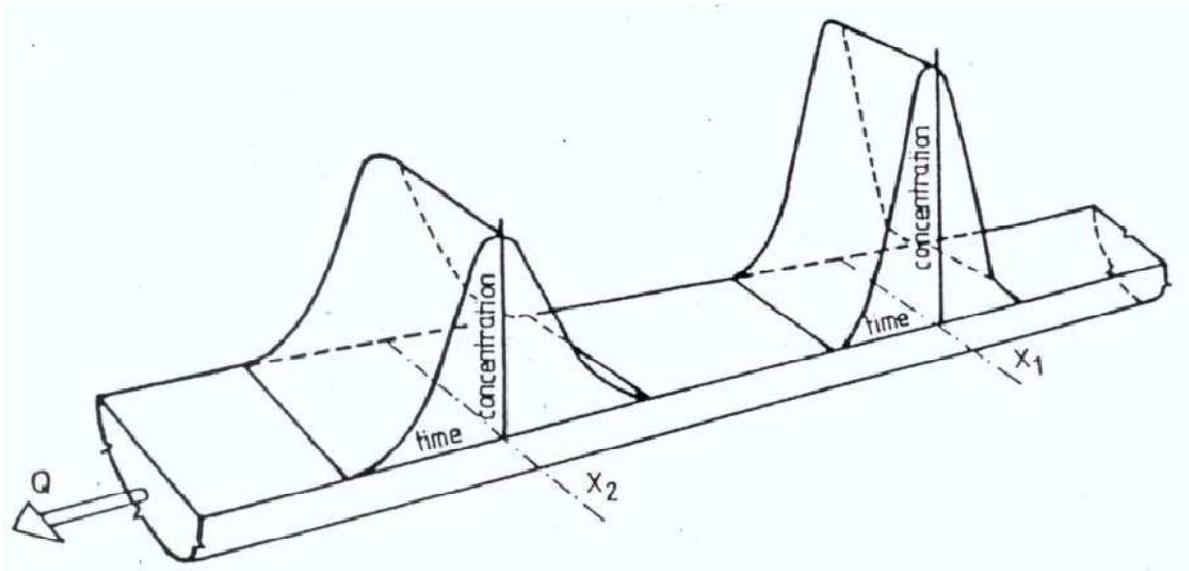
$$C(x, t) = \frac{M}{\Omega\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2}{4D_L t}\right] \quad (3)$$

Donde:

Ω : área de la sección transversal del curso que se representa en la Figura 9. Nótese que se trata de una campana de Gauss que aumenta su ancho y disminuye su valor pico, conservando el área debajo de la curva (que es básicamente la masa M). La ecuación (3) muestra que en una sección x la concentración máxima:

$$C_{max}(x) = \frac{M}{\Omega\sqrt{4\pi D_L \frac{x}{U}}} \quad (4)$$

Figura 14. Propagación de un pulso de contaminación



Fuente: Jolánkai, 1996

Un modelo unidimensional más general que el representado en la ecuación (1) es el que incorpora la posibilidad de un **decaimiento** de la sustancia (**no conservativa**) a través de una reacción de primer orden (es decir, una tasa de desaparición de la sustancia proporcional a la concentración de la misma), es decir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - kC \quad (5)$$

Donde:

k: constante de reacción

El valor de la constante de reacción depende de la sustancia considerada y del proceso particular (descomposición bioquímica, nitrificación, degradación bacteriana, etc.).

Si se incluye este proceso de decaimiento, la solución (3) para el problema de un vertido instantáneo se generaliza a (Jolánkai, 1992).

$$C(x, t) = \frac{M}{\Omega \sqrt{4\pi D_L t}} \exp \left[-\frac{(x-Ut)^2}{4D_L t} - kt \right] \quad (6)$$

que es cualitativamente análoga a la mostrada en la Figura 8, sólo que ahora el área debajo de la curva disminuye a medida que se propaga por la desaparición de masa que significa esa reacción.

En el caso de una descarga puntual continua en el tiempo, la solución de la ecuación (5) es:

$$C = C_o \exp(-mx) \quad (7)$$

Donde:

C_o : concentración inmediatamente aguas abajo del vertido

y el coeficiente de decaimiento m está dado por:

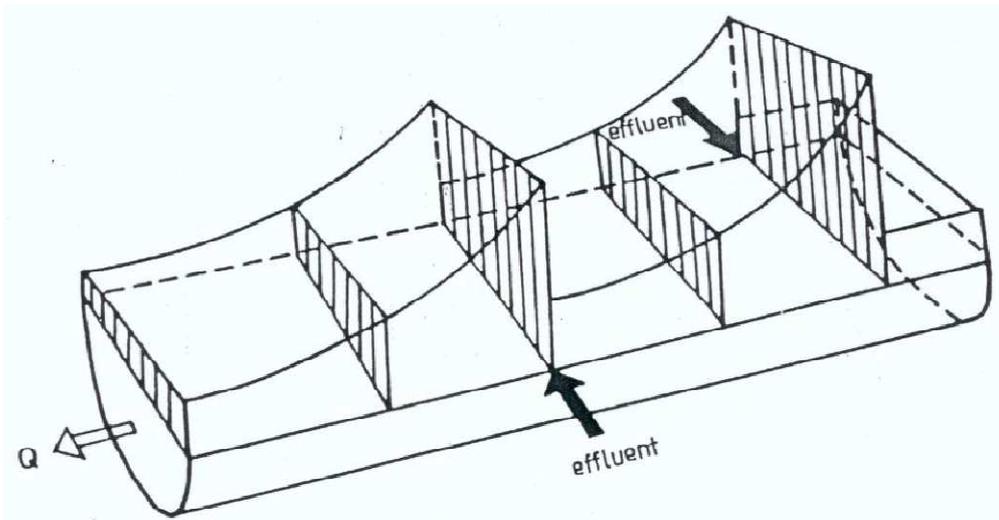
$$m = \frac{\sqrt{U^2 + 4kD_L} - U}{2D_L} \quad (8)$$

La concentración inicial C_o surge de la mezcla (total) del agua vertida y la que transporta el curso de agua. Si la primera representa un caudal Q_v con una concentración C_v de contaminante, mientras que el curso de agua conduce un caudal Q_b con una concentración de base C_b , la concentración inicial surge del **balance de masa**, es decir:

$$C_o = \frac{Q_b C_b + Q_v C_v}{Q_b + Q_v} \quad (9)$$

La ecuación (7) permite calcular la concentración media del contaminante a cualquier distancia del punto de vertido. En la Figura 10 se muestra como se han combinado dos vertidos en serie:

Figura 15. Distribución de la concentración debida a aportes puntuales continuos



Fuente: Jolánkai, 1992.

Si el análisis en el punto de descarga se focaliza, utilizándose una escala de análisis del orden de las dimensiones laterales del curso (**difusión lateral**), considerando aun que la escala de profundidades sigue siendo pequeña a esta escala de estudio, surge un modelo bidimensional sobre el plano horizontal para el transporte del contaminante. En su forma más simple está representado por (Jolánkai, 1992).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - kC \quad (10)$$

Donde:

D_T : coeficiente de difusión lateral

El coeficiente de difusión lateral representa la mezcla lateral debido a la turbulencia, Se expresa como;

$$D = e_t f H U \quad (11)$$

Donde:

e_t : coeficiente de difusión lateral adimensional

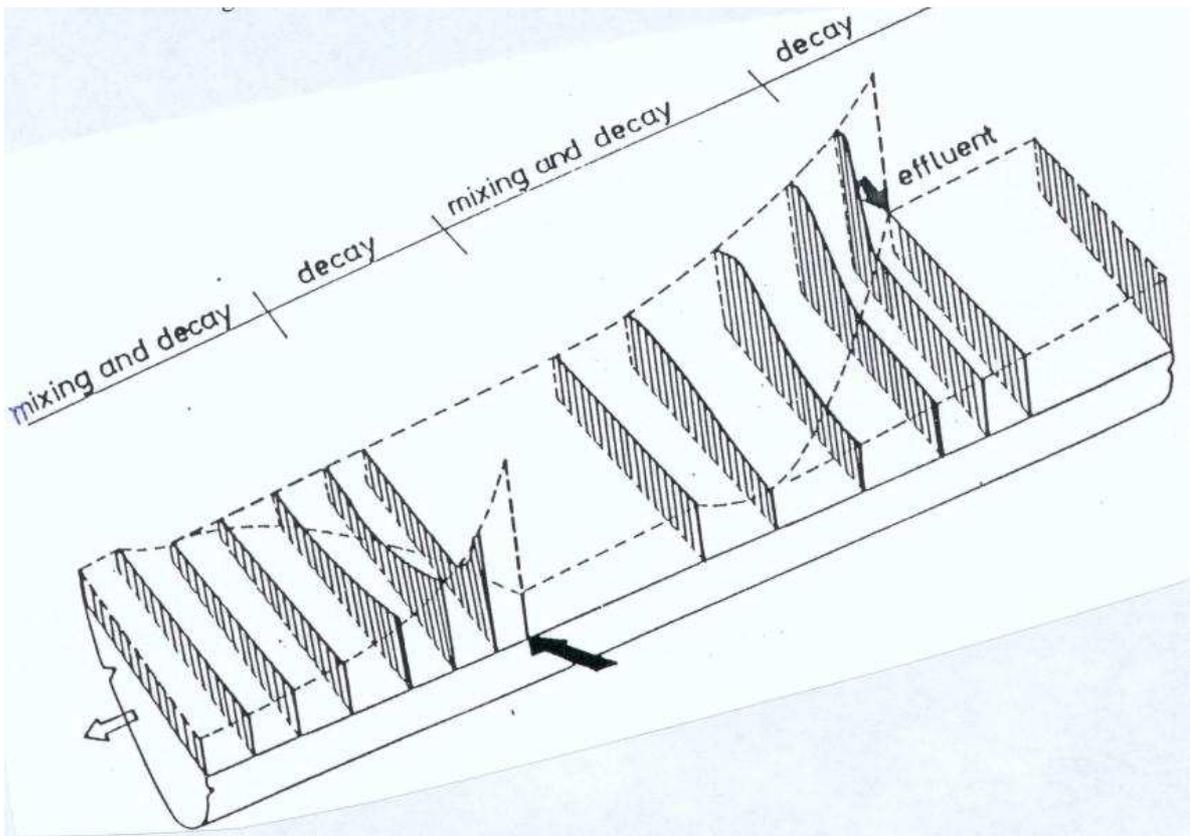
El valor de e_t es inferior o del orden de 1.

La solución de la ecuación (10) para el caso del vertido puntual continuo sobre una margen (en el punto $x=y=0$), suponiendo que la concentración base del contaminante es despreciable, que no tiene efecto la presencia de la margen opuesta y que la escala espacial de dispersión es mucho mayor que la de decaimiento (del modo que el efecto de la dispersión pueda despreciarse), es:

$$C(x, y) = \frac{Q_v C_v}{H \sqrt{\pi U D_T x}} \exp \left[-\frac{U y^2}{4 D_T x} - k \frac{x}{U} \right] \quad (12)$$

La solución (12) representa una pluma de contaminación que se desarrolla pegada a la margen sobre la que se produjo la descarga y se ensancha por difusión lateral, a medida que se avanza hacia aguas abajo, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 16. Descarga puntual continúa desde la margen



Fuente: Jolánkai, 1992

2.5. CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (ICA - CCME)

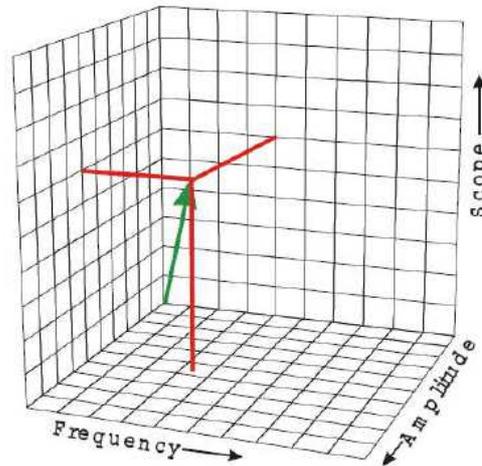
La calidad del agua, es un término ampliamente usado. Su cuantificación científica resulta importante y esta es una estrategia básica en el desarrollo de las bases científicas para el manejo de los recursos hídricos (Hakanson et al. 2000).

Khan et al. (2004) indicaron que la aplicación del índice de calidad del agua fue avalada por el Consulado Canadiense como la medida ambiental es herramienta práctica para mostrar los resultados de manera integral de los parámetros: físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos de las diferentes comunidades.

Este ICA-CCME está conformado por tres factores: (1) amplitud, (2) alcance y (3) frecuencia; y cada uno se escala en un rango entre cero y cien (Gyamfi, 2013). Los valores de las 3 mediciones se combinan para crear un vector en un espacio "objetivo excedencia" imaginario. La longitud del vector se escala en un rango entre cero y cien mediante lo cual

se genera un índice en el cual cero representa una calidad del agua muy pobre y un valor cercano a 100 para una agua de excelente calidad (Díaz, 2010).

Figura 17. Objetivo excedencia - imaginario ICA del CCME



Fuente: Díaz, 2010.

Factor 1 (Alcance): Este factor representa el número de objetivos que no se alcanzaron, evalúa la conformidad con los objetivos en un periodo de tiempo indicando el porcentaje de parámetros que no alcanzaron el objetivo

$$F1 = \frac{\text{Número de variables que fallaron}}{\text{Número de total de variables}} \times 100$$

Factor 2 (Frecuencia): Representa el número de pruebas individuales que no alcanzaron los objetivos, evalúa la frecuencia con la cual los objetivos no se alcanzaron e indica el porcentaje de pruebas individuales que no alcanzaron su objetivo.

$$F2 = \frac{\text{Numero de pruebas deficientes}}{\text{Número total de pruebas}} \times 100$$

Factor 3 (Amplitud): Representa la cantidad por la cual las pruebas no alcanzaron los objetivos y se calcula en 3 pasos:

(a) El número de veces que una concentración de un parámetro excede un objetivo se denomina "excursión".

Cuando un parámetro no debe exceder una concentración:

$$\text{Excursión} = \frac{\text{Valor inaceptable}}{\text{objetivo}} - 1$$

Cuando un parámetro no debe ser menor a un objetivo:

$$Excursión = \frac{Objetivo}{Valor\ inaceptable} - 1$$

(b) Cálculo de la cantidad colectiva de pruebas individuales que se encuentran fuera de conformidad, este aspecto se denomina "suma normalizada de las excursiones" o NSE

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n excursiones}{Número\ de\ pruebas}$$

(c) El Factor 3 se escala para generar un valor entre cero y cien

$$F3 = \frac{NSE}{(0.01 \times NSE) + 0.01}$$

Finalmente, el CCME WQI se calcula de la siguiente manera: (Revista Ingenierías, 2009)

$$ICA\ CCME = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Una vez que el valor del ICA haya sido determinado, la calidad del agua es clasificado en alguna de las siguientes categorías (CCME, 2001):

- Excelente (entre 95 y 100): La calidad del agua está protegido por una ausencia virtual de amenaza o discapacidad, condiciones bastante cercanas a niveles naturales o originales.
- Bueno (entre 80 y 94): La calidad del agua está protegida por solo un menor grado de amenaza o discapacidad, condiciones que rara vez salen de niveles naturales o deseables
- Aceptable (entre 65 y 79): La calidad es usualmente protegida pero ocasionalmente amenazada o dañada, las condiciones usualmente salen de niveles naturales o deseables.
- Marginal (entre 45 y 64): La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada; las condiciones suelen salirse de niveles naturales o deseables.
- Pobre (entre 0 y 44): La calidad del agua es casi siempre amenazada o dañada; las condiciones usualmente salen de niveles naturales o deseables.

La asignación de valores del ICA a estas categorías esta denominado como categorización y representa un proceso critico pero sobretodo subjetivo. La categorización está basada en la mejor información disponible, opinión de expertos y expectativas generales del público acerca de la calidad del agua (CCME, 2001).

Los hallazgos de este Índice son indicadores de deterioro natural o antropogénico que pueden determinarse a lo largo de las estaciones en un mismo cuerpo de agua donde se hayan tomado los valores de monitoreo (Gyamfi, 2013).

El ICA - CCME, en lugar de normalizar los valores de los parámetros a curvas subjetivas, los compara a un punto de referencia, pudiendo ser una norma o concentraciones naturales del sitio. El ICA - CCME cuantifica, en un periodo de tiempo determinado, el número de parámetros que superan un punto de referencia, el número de registros en un conjunto de datos que exceden un punto de referencia y la magnitud de superación del valor de referencia. El índice es flexible en cuanto a los puntos de referencia que se utilizan para el cálculo, y depende que los parámetros utilizados tengan dichos puntos de referencia (UNEP, 2007).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. UBICACIÓN

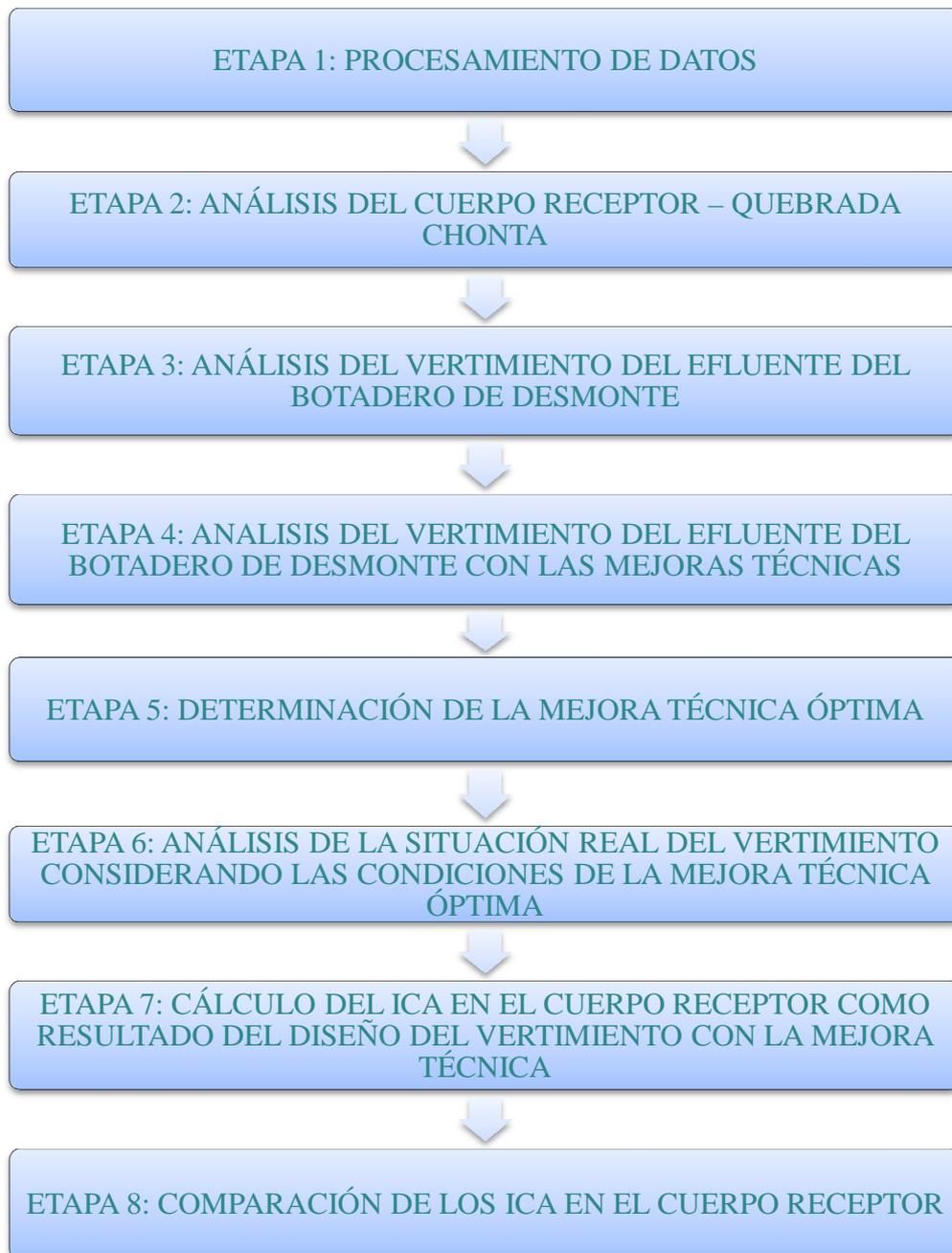
La unidad minera se ubica en las inmediaciones del Cerro Huisamarca, al margen derecho y curso medio de la Quebrada Chonta, a una altitud entre 4 200 y 4 800 m.s.n.m., localizada en la zona oriental de la Cordillera Occidental Andina, en la localidad de Pumallacta, distrito de Quiñota, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco. El vertimiento se realiza en la Quebrada Chonta, afluente del Rio Santo Tomás, perteneciente a la Intercuenca Alto Apurímac, Cuenca del Rio Apurímac (Tecnología XXI, 2009).

3.1.2. MATERIALES Y EQUIPOS

- Informes de monitoreo trimestral Autorización de Vertimientos R.D. 323-2013-ANA-DGCRH elaborados por J. Ramón del Perú S.A.C.
- Expediente de Autorización del Vertimiento de Aguas Residuales Industriales Tratadas de la Unidad Minera (aprobado mediante R.D. N° 323-2013-ANA-DGCRH)
- Instrumentos ambientales del proyecto minero: EIA (R.D. N° 409-2009-MEM-AAM) y Modificación del EIA (R.D. N° 218-2013-MEM/AAM).
- Computadora que cuente con los *software*: CORMIX v8.0, *CCME Water Quality Index Calculator 1.2*, Microsoft Office Excel, XLSTAT, Microsoft Office Word.
- Manual de Usuario para CORMIX.
- D.S. 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

D.S 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.

3.2. METODOLOGÍA



3.2.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para un adecuado análisis del cuerpo receptor y efluente, así como del modelamiento del vertimiento es necesario establecer cuáles son los resultados de monitoreo que nos muestren el estado real de la quebrada y del efluente, para que no hayan interferencias en el análisis.

Se utilizaron los Informes de Monitoreo Trimestral de la Autorización de Vertimiento de la Unidad Minera, correspondiente al I y II trimestre de 2011, I, III y IV trimestre de 2012, I, III y IV trimestre de 2013, y I trimestre de 2014. Los informes de monitoreo faltantes no se han considerado debido a que no se registraron caudal del efluente, por lo tanto no se monitoreó las estaciones aguas arriba ni aguas abajo.

Las metodologías empleadas para las determinaciones de los parámetros de campo fueron las siguientes:

Cuadro 7. Parámetros de Campo

Parámetros	Unidades	Límite de detección	Norma de referencia	Equipo
pH	Unid. pH	-	SM 4500 H+ B Ed. 2012	Multiparámetro Marca: HACH Modelo: HQ40d MONIT - 177
Temperatura	°C	-	SM 2550-B, 22nd Ed. 2012	
Conductividad eléctrica	µS/cm	-	SM 2510-B 22nd Ed. 2012	
Oxígeno disuelto	mg/L	0.01	SM 4500-o-G, 22nd Ed. 2012	
Caudal	L/s	-	Método del Correntómetro	

A continuación se detalla los métodos de ensayo aplicados en laboratorio, para lo cual se ha tomado como referencia las normas establecidas por *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater* (SM) APHA, AWWA, WEF 21 st Ed. 2005.

Cuadro 8. Parámetros de Ensayo

Parámetros	Normas	Unidad	Límite de detección
Cianuro WAD	SM 4500 CN- I, E	mg/L	0.005
Demanda Bioquímica de oxígeno	SM 5210-B	mg/L	2
Mercurio total	SM 3112-B	mg/L	0.0001
Sólidos suspendidos totales	SM 2540-D 22nd Ed. 2012	mg/L	2
Sulfuros	SM 4500 S ⁻ D	mg/L	0.002
Metales totales (ICP)	EPA 200.7 (1994)	mg/L	

“SM”: *Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 21st Ed. 2005.*

“EPA”: *U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.*

Fuente: Informes de Monitoreo Trimestrales, JRamon.

3.2.1.1. Test de Grubbs

Se cuenta con los valores de los parámetros monitoreados del efluente de todos los trimestres mencionados, así como del cuerpo receptor aguas arriba y aguas abajo.

Cuadro 9. Resultados del monitoreo del Efluente del Botadero de Desmante

Efluente	Fecha	pH (unid.)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Caudal (L/s)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	ST S (mg/L)	CN Wad (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Se (mg/L)
QCH-A	mar-11	5.1	12	435.8	5.9	--	0.027	0.0038	0.077	<0.0008	0.0006	0.015	0.3256	160	-	2.276	1.549	<0.006
QCH-A	jun-11	7.92	7.2	131	4.24	5.98	0.0007	<0.004	0.314	<0.01	<0.0001	<0.007	0.14	6	-	-	-	-
QCH-A	mar-12	8.87	10	1256	--	631.56	0.0124	0.006		<0.01	0.0002	0.016		30	-	-	-	-
QCH-A	set-12	7.96	8.8	515	6.68	0.12195	0.0013	0.002	0.042	<0.01	0.0002	<0.007	0.104	8	<0.005	-	-	-
QCH-A	dic-12	6.63	11.1	638	6.81	9	0.0037	0.006	0.209	<0.01	<0.0001	<0.007	0.681	13	<0.005	-	-	-
QCH-A	mar-13	6.3	10.9	1508	7.01	19.801	0.011	0.0009	0.129	0.001	0.0001	0.014	0.756	15	0.049	-	-	-
QCH-A	set-13	6.53	7	708	6.79	0.14	<0.005	0.011	0.5	<0.001	<0.0001	0.006	0.854	45	<0.005	-	-	-
QCH-A	dic-13	6.56	14.8	705	5.95	1.734	<0.005	0.0018	0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.013	<2	<0.005	-	-	-
QCH-A	mar-14	6.3	-	-	-	1.651	0.0166	0.034	0.395		<0.0001	<0.004	0.457	33	-	-	-	-

Se observó que en marzo de 2012 se reportó un valor excesivo de caudal, a comparación de lo normalmente reportado. Por este motivo, y para no alterar el cálculo de los promedios, se decidió utilizar el Test de Grubbs, para determinar valores atípicos de caudal con un riesgo de falso rechazo de 10%.

$$1.977 < \frac{|Q_i - Q_{prom}|}{\sigma}$$

Donde:

Q_i = Caudal en cualquier tiempo

Q_{prom} = Caudal promedio

σ = Desviación Estándar

3.2.1.2. Selección de parámetros a analizar

Se procedió a comparar los resultados de monitoreo del efluente con los LMP. Además, por afectar directamente éste a la calidad del agua del cuerpo receptor, se decidió compararlo también con los ECA - Agua, Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y Bebida de animales, debido a las actividades agrícolas que se llevan aguas abajo de la quebrada; también con la Categoría 1: Poblacional y Recreacional - A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, debido que el poblado más cercano se ubica a aproximadamente 5 km de la Unidad Minera; y finalmente con la Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático - Ríos Costa y Sierra, por la presencia de riqueza hidrobiológica, según la Línea Base Ambiental de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (Tecnología XXI, 2010).

Se seleccionaron todos los parámetros que sobrepasen por los menos una de las categorías anteriormente mencionadas.

Para el modelamiento con el CORMIX la concentración del parámetro a analizar debe ser superior al estándar de calidad de agua, no aplican parámetros con concentraciones menores o rangos como es el caso del Oxígeno Disuelto y el pH. Se consideraron establecer escenarios o situaciones específicas, con condiciones promedio y extremas.

3.2.1.3. Determinación de la Situación Extrema

La situación extrema se estableció en base a las peores condiciones a las cuales podría encontrarse el cuerpo receptor. Dicha Situación Extrema considera el mayor caudal del efluente, el menor caudal del cuerpo receptor y las mayores concentraciones de los parámetros. En el caso de un efluente de mayor caudal que el cuerpo receptor, no se aplica el modelamiento dado que el efluente debe cumplir con los valores del ECA-Agua. Esta situación se identificó mediante el diagrama de Cajas y Bigotes, el cual empleó con un nivel de confianza del 95%.

3.2.2. ANÁLISIS DEL CUERPO RECEPTOR – QUEBRADA CHONTA

Los resultados de los monitoreos de las estaciones aguas arriba (QCH-B) y aguas abajo (QCH-C) fueron comparadas con los ECA-Agua, Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y Bebida de animales, Categoría 1: Poblacional y Recreacional - A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático - Ríos Costa y Sierra. Además se considero calcular el ICA a 100 m aguas abajo del vertimiento del efluente para su adecuada comparación con los resultados de las aplicaciones de las mejoras técnicas. Los valores de las concentraciones de los parámetros a 100 m aguas abajo del vertimiento se tomaron en base a la simulación del vertimiento del efluente, para luego calcular su valor de ICA a 100 m aguas abajo del vertimiento del efluente.

3.2.2.1. Evaluación Espacial

La evaluación espacial del cuerpo receptor a través del cálculo del ICA se realizó en cada estación (QCH-B y QCH-C), y con los monitoreos agrupados por temporadas (seca y húmeda), y comparándose con los ECA-Agua (Categoría 3, 1A y 4). Además se seleccionaron solo los parámetros que tienen límites establecidos en el ECA – Agua, según cada categoría, puesto que el cálculo del ICA requiere los resultados de los monitoreos que no cumplen con dichos límites.

El cálculo del ICA se hizo a través del *Canadian Council of Ministers of the Environment Calculator 1.2 (CCME WQI Calculator 1.2)*, un software, basado en la metodología de cálculo del ICA, operado a través de Excel MS para el cálculo sistemático del ICA. Dicho cálculo genera resultados generales, así como resultados específicos por parámetro excedido.

Primero se coloca en la Hoja “Data” todos los resultados disponibles. En el caso de resultado faltantes se coloca -999 (por defecto) y los valores que se encuentran por debajo del límite de detección se coloca con el signo <.

Cuadro 10. Ingreso de los valores de concentración por trimestre

Raw Data								
Station Number	Sample Date	Index Period	CE	CN Wad	Mn (Manganese)	Cd (Cadmium)	Cu (Copper)	Sulphides
QCH-B	set-13		176	<0.005	(999.00)	<0.0007	0.00	(999.00)
QCH-B	set-12		220	<0.005	(999.00)	0.002	<0.006	(999.00)
QCH-B	jun-11		33	(999.0000)	(999.00)	<0.002	<0.006	(999.00)

Luego en la Hoja “Guidelines” se indican los parámetros con sus respectivos valores de las Categorías de los ECA – Agua señalados anteriormente. En la primera columna señalar “test” si se considera dicho parámetro

Cuadro 11. Ingreso de los valores de los ECA-Agua

Guidelines										
<i>400 Objectives maximum</i>										
Type "test" in Field "A" for the objective to be included in the CCME Water Quality Index calculation										
A		Water Quality Parameter	Non-compliance:	Value 1	Value 2	Unit	Hardness >	Hardness <=	Season Start (e.g. '01-apr)	Season Finish (e.g. '31-oct)
test	1	Pb (Lead)	>	0.01		mg/L	0	60		
test	2	CE	>	1500		µS/cm				
	3	CN Wad	>	0.08		mg/L				
test	4	Mn (Manganese)	>	0.1		mg/L				
...					

Finalmente como resultado se obtiene el ICA, así como el F1, F2 y F3 para su cálculo; además los porcentajes de pruebas fallidas por parámetro.

3.2.2.2. Evaluación Temporal

La evaluación temporal se realizó mediante el análisis de componentes principales, el cual utilizó como base al Coeficiente de Pearson, de tal manera que se pudo evidenciar la relación entre los parámetros fisicoquímicos.

Análisis de Componentes Principales

Las estadísticas multivariadas constituyen una herramienta que permite agrupar un gran número de variables dentro de un único análisis. La técnica de ordenación conocida como Análisis por Componentes Principales (APCP) permite evaluar grandes matrices con múltiples estaciones y variables fisicoquímicas, su principal ventaja es agrupar en unas pocas variables llamadas componentes, alta cantidad de información con base en las correlaciones existentes entre las variables. (Gómez, 2001).

Estos componentes están representados por los ejes F1 y F2, para este caso.

La mayor proximidad de unos u otros en un plano de coordenadas cartesianas van a permitir establecer los grupos afines entre sí. Este análisis se realizó con el *software XLSTAT 2009*, que es una extensión al *software Microsoft Excel*.

Cuando las variables están relativamente cercanas del centro del gráfico, entonces cualquier interpretación es arriesgada, y es necesario referirse a la matriz de correlaciones o a otros planos factoriales para interpretar los resultados (Centro de formación XLSTAT).

3.2.3. ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE

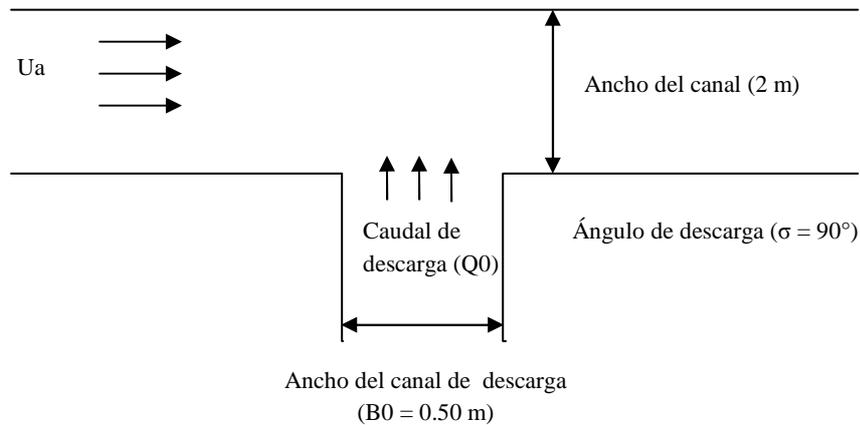
3.2.3.1. Datos de la geometría del vertimiento y del cuerpo receptor (Quebrada Chonta)

Como indica en el Manual del CORMIX, se sugiere que el COMIRX3 se aplica mejor al 90% de descargas superficiales, como es el caso del vertimiento del efluente en estudio.

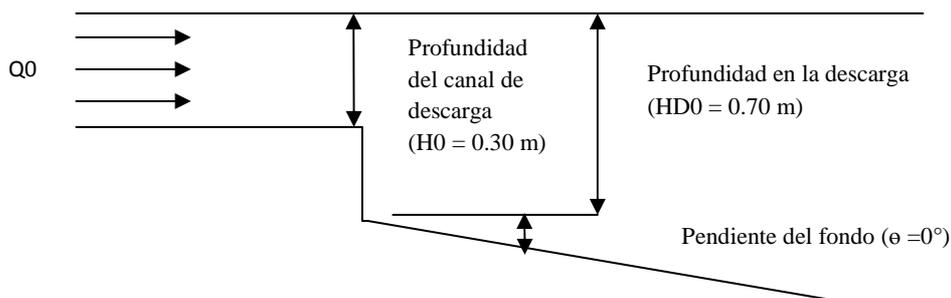
El canal que sale desde el Sistema de Tratamiento y termina en la quebrada no presenta dimensiones constantes. El tramo final del vertimiento del efluente del Botadero de Desmonte tiene las siguientes dimensiones:

Figura 18. Esquematzación de la salida del vertimiento al cuerpo receptor

a) Vista de planta



b) Vista transversal



La apariencia del canal es de Tipo 2 (Canales con meandros moderados aguas abajo con un canal no uniforme). Se consideró un “n” de Manning de 0.025 (Canal de tierra, con algunas piedras y maleza)

Se especificó una Región de Interés, con una distancia aguas abajo de 100 m, considerando una distancia total de 2000 m y con intervalos de grilla con una valor de 10.

3.2.3.2. Aplicación del CORMIX 3 en la modelación del efluente en la Quebrada Chonta – Situación Extrema

Se utilizó el CORMIX3 para la simulación de ambas situaciones. Como resultado de la simulación el CORMIX genera unos documentos llamados *Session Report* y *Prediction File*. El primero ofrece un resumen de los datos proporcionados al *software*, así como los Parámetros del ambiente, Parámetros de la descarga, Clasificación hidrodinámica, Condiciones y Comportamiento del Campo Cercano, Resumen de la

mezcla en el Campo Lejano, entre otros. En el segundo ofrece la predicción de los valores de los parámetros en distintas distancias, coeficientes de dilución, entre otros datos. De ambos documentos se tomaron los siguientes datos: Concentración y Coeficiente de dilución del parámetro en el Campo Cercano o Zona de Mezcla, Concentración y coeficiente de dilución a los 100 m y 2 000 m, Distancias en metros hacia aguas abajo en donde se cumple los ECA - Agua Categoría 3, 1A y 4, con sus respectivos Coeficientes de dilución.

3.2.4. ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE CON LAS MEJORAS TÉCNICAS

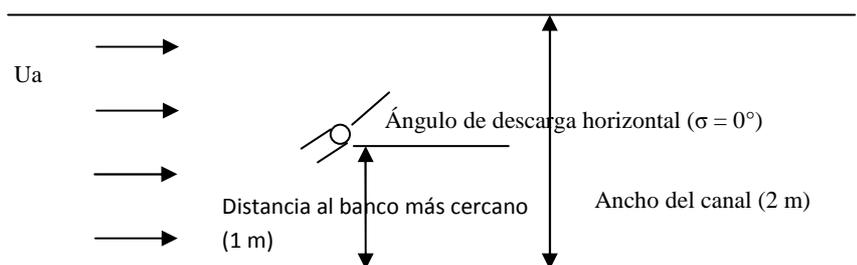
Los datos de la geometría del cuerpo receptor son constantes. Se utilizaron las siguientes especificaciones de las Mejoras Técnicas para las simulaciones con el CORMIX. Para la selección de la Mejora Técnica Óptima se consideró simular todas las alternativas con la Situación Extrema.

3.2.4.1. Mejora Técnica N°1 en la Quebrada Chonta

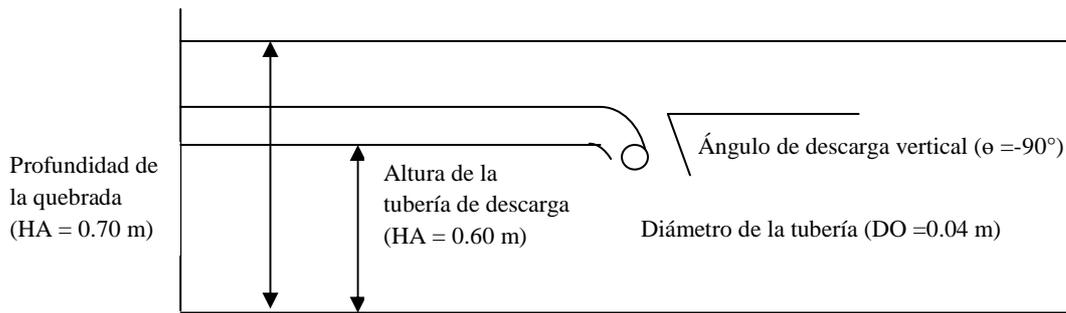
Se aplicó el CORMIX 1 en la modelación del efluente con la Mejora Técnica N° 1 donde se considera un vertimiento compuesto por una tubería sumergida la cual descargue en el fondo de la quebrada o cuerpo receptor. Dicho escenario presenta la siguiente esquematización:

Figura 19. Esquematización de la Mejora Técnica N° 1

a) Vista de planta



b) Vista transversal



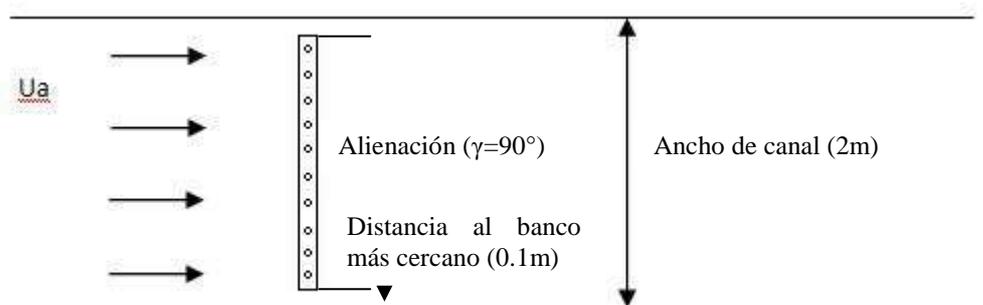
Se obtuvieron resultados de concentración de los parámetros en el Campo Cercano o Zona de Mezcla, a 100 m y a 2000 m hacia aguas abajo. Además de las distancias donde se cumplieron los ECA-Agua Categoría 3, 1A y 4.

3.2.4.2. Mejora Técnica N°2 en la Quebrada Chonta

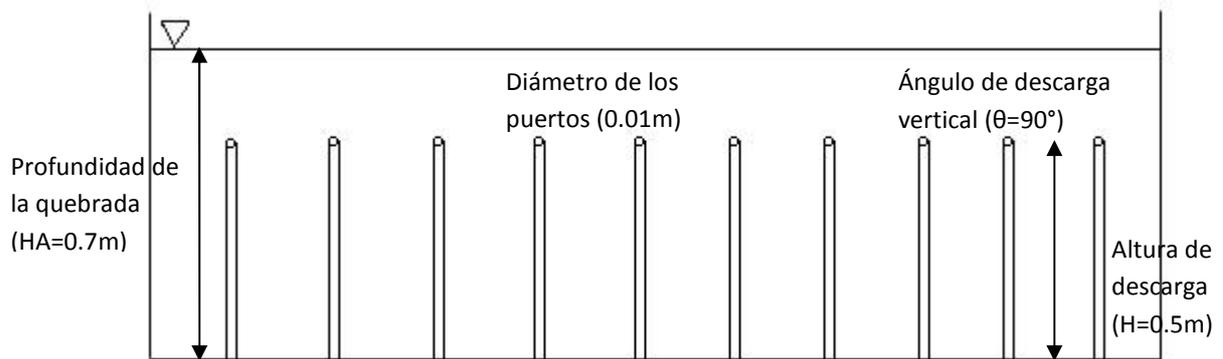
Se aplicó el CORMIX 2 en la modelación del efluente con la Mejora Técnica N° 2 donde se considera un vertimiento multipuerto sumergido (10 puertos), el detalle se puede apreciar en el siguiente esquema.

Figura 20. Esquematización de la Mejora Técnica N° 2

a) Vista de planta



b) Vista transversal



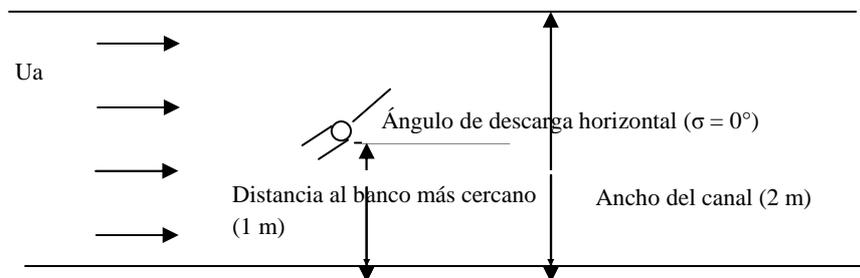
Se obtuvieron resultados de concentración de los parámetros en el Campo Cercano o Zona de Mezcla, a 100 m y a 2000 m hacia aguas abajo. Además de las distancias donde se cumplieron los ECA-Agua Categoría 3, 1A y 4.

3.2.4.3. Mejora Técnica N° 3 en la Quebrada Chonta

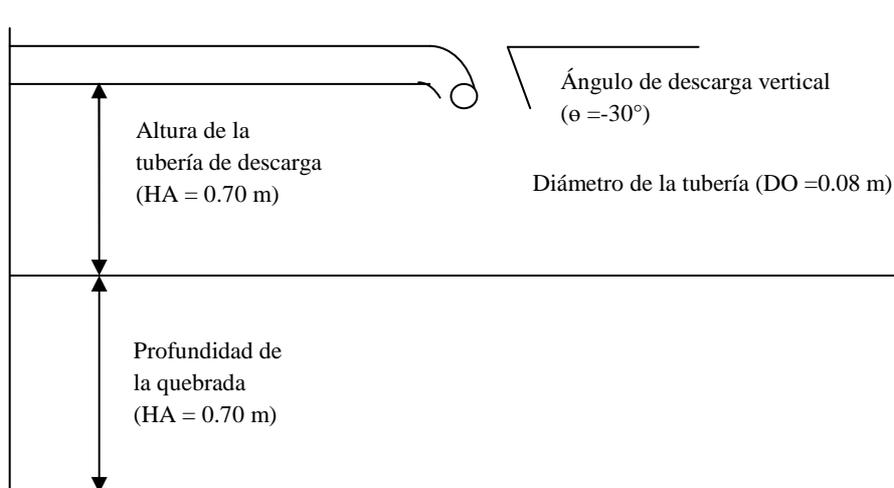
Se aplicó el CORMIX 1 en la modelación del efluente con la Mejora Técnica N° 3 que consiste de una tubería la cual descarga por encima de la quebrada o cuerpo receptor, la cual presenta la siguiente esquematización:

Figura 21. Esquematización de la Mejora Técnica N° 3

a) Vista de planta



b) Vista transversal



Se obtuvieron resultados de concentración de los parámetros en el Campo Cercano o Zona de Mezcla, a 100 m y a 2000 m hacia aguas abajo. Además de las distancias donde se cumplieron los ECA-Agua Categoría 3, 1A y 4.

3.2.5. DETERMINACIÓN DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA

Se compararon las concentraciones de los parámetros, producto de las simulaciones, con las Mejoras Técnicas, a 100 m aguas abajo del vertimiento del efluente; de manera que se eligió la Mejora Técnica con la que se haya conseguido obtener las menores concentraciones de parámetros en dicha distancia.

3.2.6. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN REAL DEL VERTIMIENTO CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA

Luego de la elección de la Mejora Técnica Óptima, se procedió a simular con dichas condiciones de vertimiento, los valores de los parámetros del efluente de cada campaña, de manera que se obtuvieron concentraciones a 100 m hacia aguas abajo del vertimiento del efluente.

3.2.7. CÁLCULO DEL ICA EN EL CUERPO RECEPTOR COMO RESULTADO DEL DISEÑO DEL VERTIMIENTO CON LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA.

Con estas nuevas concentraciones simuladas con la Mejora Técnica Óptima, se calculo el ICA en la Zona de Mezcla, ubicada a 100 m del vertimiento.

3.2.8. COMPARACIÓN DE LOS ICA EN EL CUERPO RECEPTOR

Finalmente, se compararon los ICA de la Situación Real y los ICA con la aplicación de la Mejora Técnica Óptima.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. TEST DE GRUBBS

Cuadro 12. Aplicación del Test de Grubbs a los resultados de los monitoreos del Efluente de Botadero de Desmante

Efluente	Fecha	pH (unid.)	Temperatura (°C)	Caudal (L/s)	Test de Grubbs (Caudal)
QCH-A	mar-11	5.1	12	-	0.38
QCH-A	mar-12	8.87	10	631.56	2.47
QCH-A	dic-12	6.63	11.1	9	0.34
QCH-A	mar-13	6.3	10.9	19.80	0.29
QCH-A	dic-13	6.56	14.8	1.73	0.37
QCH-A	mar-14	6.3	-	1.65	0.37
QCH-A	jun-11	7.92	7.2	5.98	0.35
QCH-A	set-12	7.96	8.8	0.12	0.38
QCH-A	set-13	6.53	7	0.14	0.38
				Promedio	83.75
				Desv. Estándar	221.45

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Como resultado del Test de Grubbs, se observa que el monitoreo realizado en marzo de 2012 da como resultado 2.47, por lo tanto no se consideró ningún valor de ningún parámetro de dicho trimestre.

4.1.2. SELECCIÓN DE PARÁMETROS A ANALIZAR

Cuadro 13 Resultados de monitoreo del efluente, comparados con el LMP y los ECA – Agua

Efluente	Fecha	pH (unid.)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Caudal (L/s)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	ST S (mg/L)	CN Wad (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Se (mg/L)
QCH-A	mar-11	5.1	12	435.8	5.9	--	0.027	0.0038	0.077	<0.0008	0.0006	0.015	0.3256	160	-	2.276	1.549	<0.006
QCH-A	jun-11	7.92	7.2	131	4.24	5.98	0.0007	<0.004	0.314	<0.01	<0.0001	<0.007	0.14	6	-	-	-	-
QCH-A	set-12	7.96	8.8	515	6.68	0.12195	0.0013	0.002	0.042	<0.01	0.0002	<0.007	0.104	8	<0.005	-	-	-
QCH-A	dic-12	6.63	11.1	638	6.81	9	0.0037	0.006	0.209	<0.01	<0.0001	<0.007	0.681	13	<0.005	-	-	-
QCH-A	mar-13	6.3	10.9	1508	7.01	19.801	0.011	0.0009	0.129	0.001	0.0001	0.014	0.756	15	0.049	-	-	-
QCH-A	set-13	6.53	7	708	6.79	0.14	<0.005	0.011	0.5	<0.001	<0.0001	0.006	0.854	45	<0.005	-	-	-
QCH-A	dic-13	6.56	14.8	705	5.95	1.734	<0.005	0.0018	0.005	<0.001	<0.0001	<0.001	0.013	<2	<0.005	-	-	-
QCH-A	mar-14	6.3	-	-	-	1.651	0.0166	0.034	0.395		<0.0001	<0.004	0.457	33	-	-	-	-
LMP		6-9	-	-	-	-	0.1	0.05	0.5		0.002	0.2	1.5	50	-	-	-	-
ECA-Categoría 3		6.5-8.5	-	2000	4	-	0.05	0.005	0.2	-	0.001	0.05	2	-	0.1	1	0.2	0.05
ECA-Categoría 1A		6.5-8.5	-	1500	6	-	0.01	0.003	2	0.05	0.001	0.01	3	-	0.08	0.3	0.1	0.01
ECA-Categoría 4		6.5-8.5	-	-	5	-	0.01	0.004	0.02	-	0.0001	0.001	0.03	25	-	-	-	-

Valores que sobrepasan por lo menos un ECA-Agua o LMP.

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Los parámetros que exceden por los menos una de las normativas indicadas, y los cuales servirán para el modelamiento son: Conductividad eléctrica, Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Zinc, Sólidos totales suspendidos, Hierro y Manganeseo.

Además se presenta los resultados de monitoreo del cuerpo receptor, aguas arriba y aguas abajo del vertimiento del efluente.

Cuadro 14. Resultados del monitoreo del Cuerpo Receptor Aguas Arriba - Quebrada Chonta

Effluente	Fecha	pH (unid.)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Caudal (L/s)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	ST S (mg/L)	CN Wad (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Se (mg/L)
QCH-B	mar-11	6.95	9.4	20.4	6.98	--	<0.004	<0.0003	0.011	0.0008	0.001	<0.004	0.0213	36		0.876	0.078	<0.006
QCH-B	jun-11	8.2	6.4	33	4.51	63.62	0.0013	<0.002	<0.006	<0.01	<0.0001	<0.007	0.046	3				
QCH-B	set-12	7.28	14.5	220	5.7	9.07	0.0016	0.002	<0.006	<0.01	<0.0001	<0.007	0.009	3	<0.005			
QCH-B	dic-12	6.55	11.1	31	6.69	249.375	0.001	<0.002	<0.006	<0.01	<0.0001	<0.007	0.017	8	<0.005			
QCH-B	mar-13	7.8	9.2	40	7.17	1521.519	<0.005	<0.0007	0.003	0.001	<0.0001	0.02	0.019	6	<0.005			
QCH-B	set-13	7.49	7.2	176	6.2	18.375	<0.005	<0.0007	0.003	<0.001	<0.0001	0.01	0.023	5	<0.005			
QCH-B	dic-13	6.88	13.9	213	7.52	1.876	<0.005	0.0008	<0.001	<0.001	<0.0001	0.014	0.003	<2	<0.005			
QCH-B	mar-14	6.9	10.2	257	5.8	89.55	<0.0092	<0.0015	<0.0014		0.0002	<0.004	0.0114	<2	<0.005	0.1305	0.098	<0.01

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Cuadro 15. Resultados del monitoreo del Cuerpo Receptor Aguas Abajo - Quebrada Chonta

Efluente	Fecha	pH (unid.)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Caudal (L/s)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	ST S (mg/L)	CN Wad (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Se (mg/L)
QCH-C	mar-11	6.9	9.8	23.3	7.05	--	<0.004	<0.0003	0.007	<0.0008	0.0007	<0.004	0.0275	42		0.949	0.09	<0.006
QCH-C	jun-11	8.03	7.3	181	4.3	69.35	0.0009	<0.002	0.023	<0.01	<0.0001	<0.007	0.069	4				
QCH-C	set-12	7.6	9.1	267	6.95	12.25	0.0009	0.002	0.009	<0.01	<0.0001	<0.007	0.061	<2	<0.005			
QCH-C	dic-12	6.68	11.3	38	6.79	565.313	0.001	<0.002	0.006	<0.01	<0.0001	<0.007	0.033	10	<0.005			
QCH-C	mar-13	7.67	12.6	55	7.67	789.731	<0.005	<0.0007	0.032	<0.001	<0.0001	0.012	0.041	14	<0.005			
QCH-C	set-13	8.02	6.9	245	6.49	24.025	<0.005	<0.0007	0.051	<0.001	<0.0001	<0.001	0.076	5	<0.005			
QCH-C	dic-13	6.89	17	367	5.91	5.8	0.007	0.0023	0.119	<0.001	<0.0001	<0.001	0.135	11	<0.005			
QCH-C	mar-14	6.5	14	128	5.9	171.469	0.0148	<0.0015	0.1167		0.0001	<0.004	0.0934	16	<0.005	0.6085	0.494	<0.01

Fuente: J Ramón del Perú S.A.C.

Cuadro 16. Resultados de la Simulación 100 m Aguas Abajo del Vertimiento del Efluente del Botadero de Desmonte - Quebrada Chonta

Campaña	Parámetro	Unidad	C_{efluente}	C_{100m}	s
mar-11	CE	μS/cm	435.8	183.3649	62.3
	As	mg/L	0.027	0.01136	62.3
	Cd	mg/L	0.0038	0.001599	62.3
	Cu	mg/L	0.077	0.032398	62.3
	Hg	mg/L	0.0006	0.000252	62.3
	Pb	mg/L	0.015	0.006311	62.3
	Zn	mg/L	0.3256	0.136998	62.3
	STS	mg/L	160	67.32077	62.3
	Fe	mg/L	2.276	0.957638	62.3
	Mn	mg/L	1.549	0.651749	62.3
jun-11	CE	μS/cm	131	59.863354	2.3
	As	mg/L	0.0007	0.00032	2.3
	Cd	mg/L	0.004	0.001828	2.3
	Cu	mg/L	0.314	0.143489	2.3
	Hg	mg/L	0.0001	0.000046	2.3
	Pb	mg/L	0.007	0.003199	2.3
	Zn	mg/L	0.14	0.063976	2.3
	STS	mg/L	6	2.741833	2.3
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-
set-12	CE	μS/cm	515	85.59874	7.3
	As	mg/L	0.0013	0.000216	7.3
	Cd	mg/L	0.002	0.000332	7.3
	Cu	mg/L	0.042	0.006981	7.3
	Hg	mg/L	0.0002	0.000033	7.3
	Pb	mg/L	0.007	0.001163	7.3
	Zn	mg/L	0.104	0.017286	7.3
	STS	mg/L	8	1.329689	7.3
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-
dic-12	CE	μS/cm	638	116.316589	29.8
	As	mg/L	0.0037	0.000675	29.8
	Cd	mg/L	0.006	0.001094	29.8
	Cu	mg/L	0.209	0.038104	29.8
	Hg	mg/L	0.0001	0.000018	29.8
	Pb	mg/L	0.007	0.001276	29.8
	Zn	mg/L	0.681	0.124156	29.8
	STS	mg/L	13	2.370087	29.8
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-
mar-13	CE	μS/cm	1508	325.200867	83.9
	As	mg/L	0.011	0.002372	83.9
	Cd	mg/L	0.0009	0.000194	83.9
	Cu	mg/L	0.129	0.027819	83.9
	Hg	mg/L	0.0001	0.000022	83.9
	Pb	mg/L	0.014	0.003019	83.9
	Zn	mg/L	0.756	0.163032	83.9
	STS	mg/L	15	3.234757	83.9
	Fe	mg/L	-	-	-

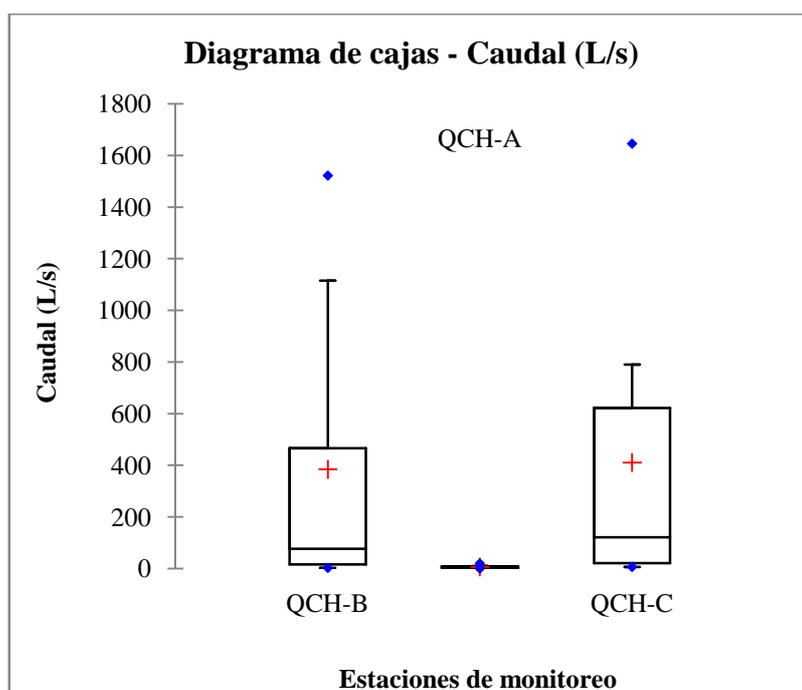
	Mn	mg/L	-	-	-
set-13	CE	μS/cm	708	11.594050	82.7
	As	mg/L	0.005	0.000083	82.7
	Cd	mg/L	0.011	0.00018	82.7
	Cu	mg/L	0.5	0.008188	82.7
	Hg	mg/L	0.0001	0.000002	82.7
	Pb	mg/L	0.006	0.000098	82.7
	Zn	mg/L	0.854	0.013985	82.7
	STS	mg/L	45	0.73691	82.7
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-
dic-13	CE	μS/cm	705		
	As	mg/L	0.005		
	Cd	mg/L	0.018		
	Cu	mg/L	0.005		
	Hg	mg/L	0.0001		
	Pb	mg/L	0.001		
	Zn	mg/L	0.013		
	STS	mg/L	2		
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-
mar-14	CE	μS/cm	821.7*	89.58803	12
	As	mg/L	0.0166	0.00181	12
	Cd	mg/L	0.034	0.003707	12
	Cu	mg/L	0.395	0.043066	12
	Hg	mg/L	0.0001	0.000011	12
	Pb	mg/L	0.004	0.000436	12
	Zn	mg/L	0.457	0.049826	12
	STS	mg/L	33	3.597913	12
	Fe	mg/L	-	-	-
	Mn	mg/L	-	-	-

4.1.3. PRESENTACIÓN DE DATOS - DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES

Cuadro 17. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Caudal:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	1	1	1
Suma de los pesos	8	8	8
Mínimo	1,876	0,122	5,800
Máximo	1521,519	19,801	1645,310
1° Cuartil	16,049	1,273	21,081
Mediana	76,585	3,857	120,410
3° Cuartil	465,806	8,285	621,418
Media	383,561	5,809	410,406
Varianza (n)	307024,509	38,671	292225,763

Figura 22. Diagrama de Cajas- caudal

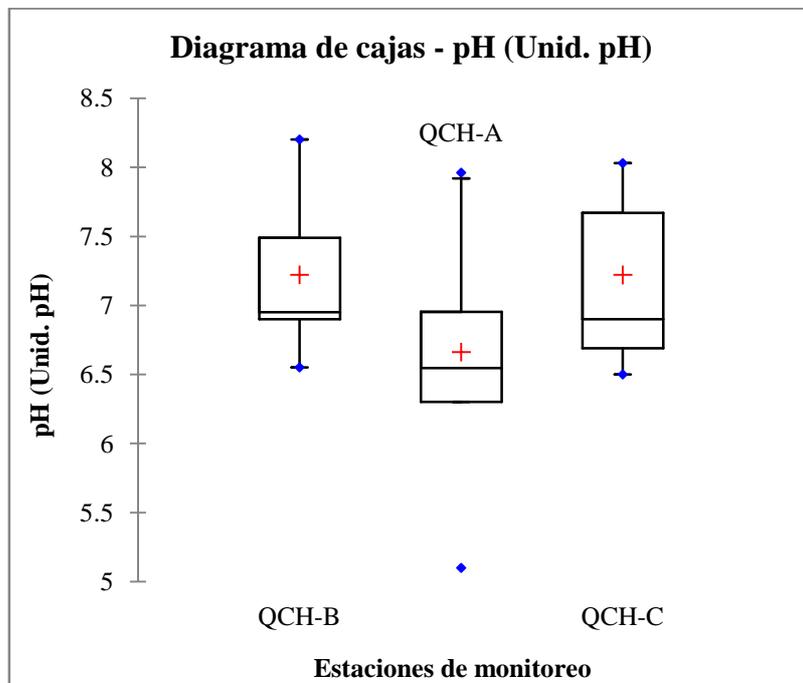


Cabe resaltar que si bien el caudal mínimo registrado aguas arriba es 1,876 L/s de fecha diciembre 2013, el dato utilizado en la situación extrema para dicho parámetro fue 63,62 L/s; ya que un caudal menor aguas arriba que el utilizado en el efluente (19,801 L/s) significaría el predominio de las concentraciones del efluente y el mismo tendría que cumplir el ECA.

Cuadro 18. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - pH:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	6,550	5,100	6,500
Máximo	8,200	7,960	8,030
1° Cuartil	6,900	6,300	6,690
Mediana	6,950	6,545	6,900
3° Cuartil	7,490	6,953	7,670
Media	7,221	6,663	7,220
Varianza (n)	0,243	0,750	0,327

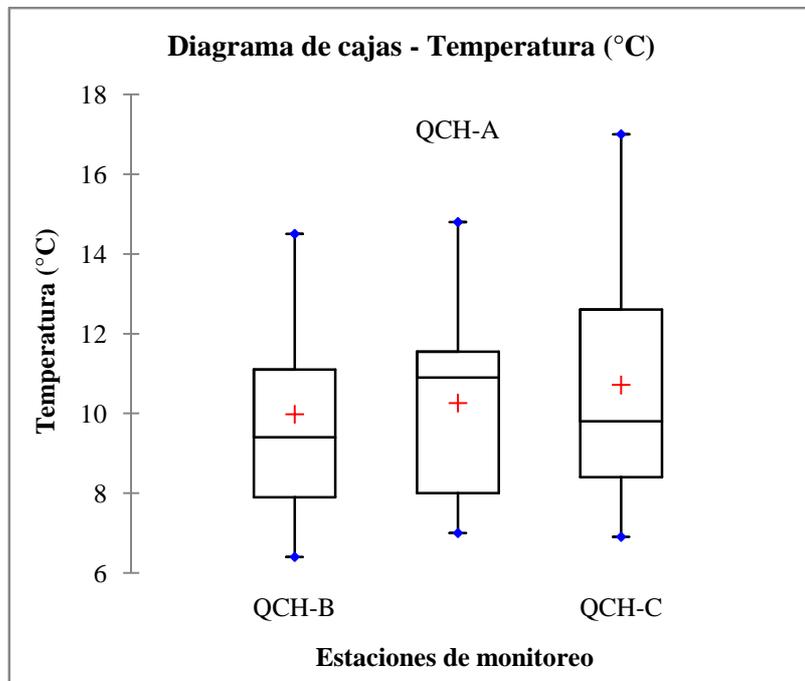
Diagrama de Cajas:



Cuadro 19. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Temperatura:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	2	0
Suma de los pesos	9	7	9
Mínimo	6,400	7,000	6,900
Máximo	14,500	14,800	17,000
1° Cuartil	7,900	8,000	8,400
Mediana	9,400	10,900	9,800
3° Cuartil	11,100	11,550	12,600
Media	9,978	10,257	10,711
Varianza (n)	6,991	6,697	9,912

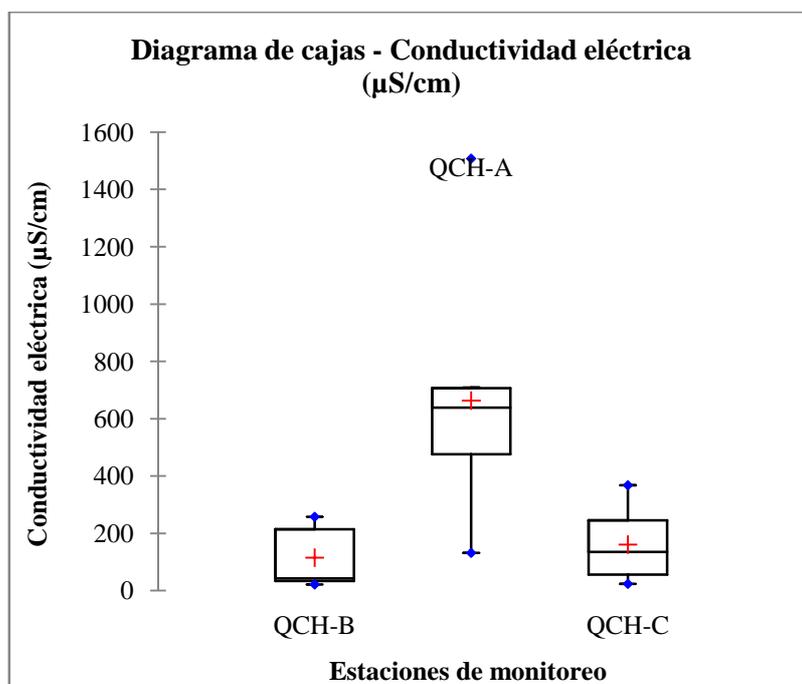
Figura.24. Diagrama de Cajas-Temperatura



Cuadro 20. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Conductividad eléctrica:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	2	0
Suma de los pesos	9	7	9
Mínimo	20,400	131,000	23,300
Máximo	257,000	1508,000	367,000
1° Cuartil	33,000	475,400	55,000
Mediana	42,000	638,000	134,000
3° Cuartil	213,000	706,500	245,000
Media	114,711	662,971	159,811
Varianza (n)	8688,490	153569,548	12028,841

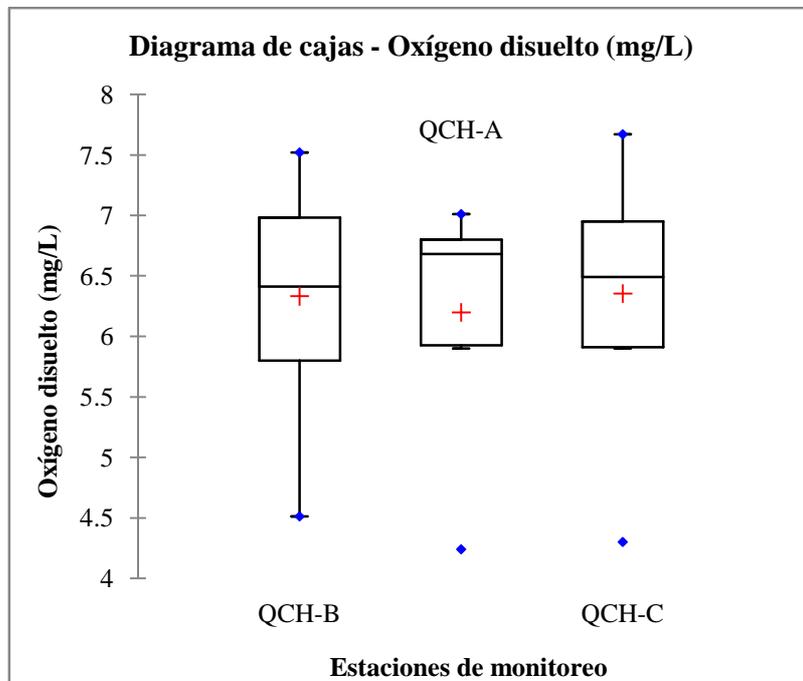
Figura 25. Diagrama de Cajas- conductividad eléctrica



Cuadro 21. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Oxígeno disuelto:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	2	0
Suma de los pesos	9	7	9
Mínimo	4,510	4,240	4,300
Máximo	7,520	7,010	7,670
1° Cuartil	5,800	5,925	5,910
Mediana	6,410	6,680	6,490
3° Cuartil	6,980	6,800	6,950
Media	6,331	6,197	6,353
Varianza (n)	0,743	0,800	0,829

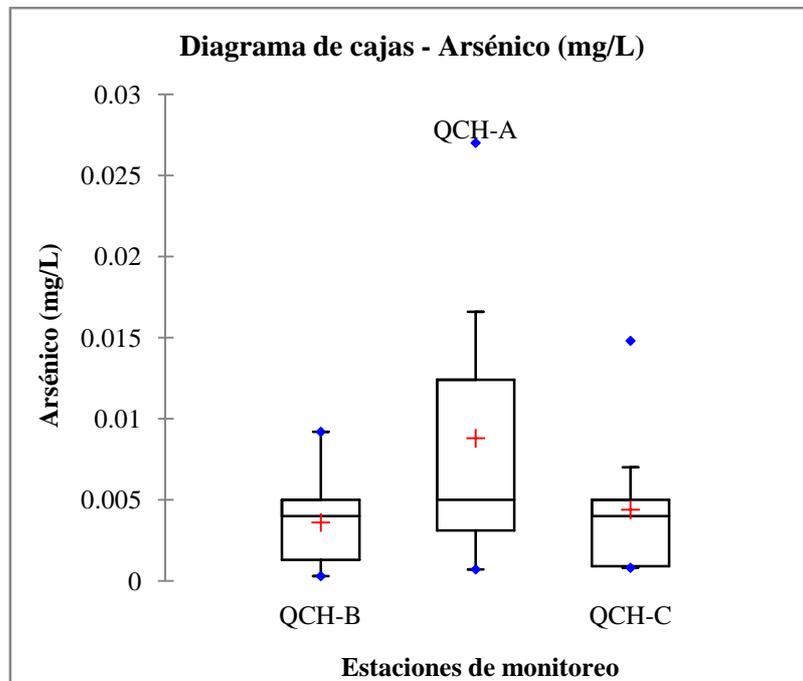
Figura 26. Diagrama de Cajas - Oxígeno disuelto



Cuadro 22. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Arsénico:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	0,0003	0,0007	0,0008
Máximo	0,0092	0,0270	0,0148
1° Cuartil	0,0013	0,0031	0,0009
Mediana	0,0040	0,0050	0,0040
3° Cuartil	0,0050	0,0124	0,0050
Media	0,0036	0,0088	0,0044
Varianza (n)	0,00001	0,00007	0,00002

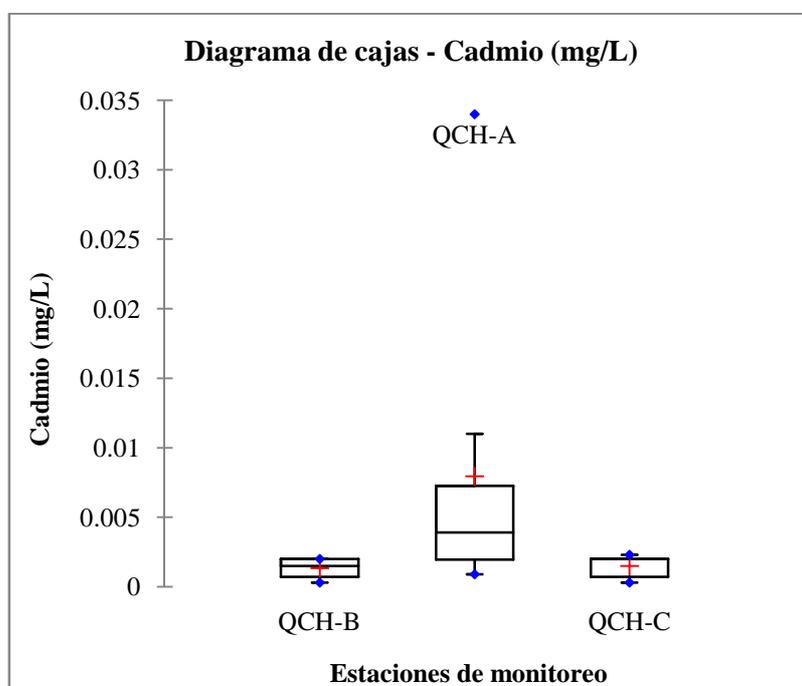
Figura 27. Diagrama de Cajas - Arsénico



Cuadro 23. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Cadmio:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	0,0003	0,0009	0,0003
Máximo	0,002	0,034	0,002
1° Cuartil	0,0007	0,0020	0,0007
Mediana	0,0015	0,0039	0,0020
3° Cuartil	0,0020	0,0073	0,0020
Media	0,0013	0,0079	0,0015
Varianza (n)	0,0000004	0,0001059	0,0000005

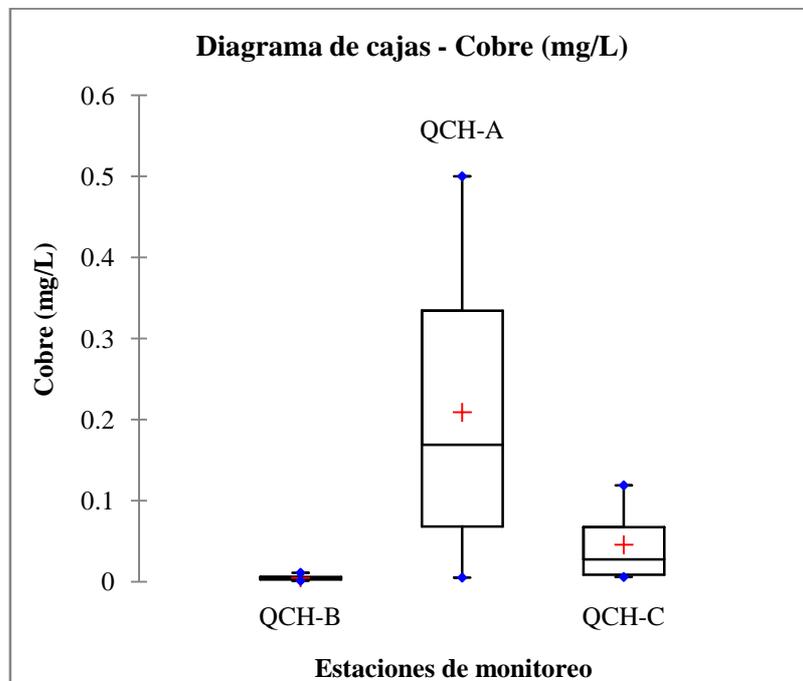
Figura 28. Diagrama de Cajas-Cadmio



Cuadro 24. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Cobre:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	1	1	1
Suma de los pesos	8	8	8
Mínimo	0,001	0,005	0,006
Máximo	0,011	0,500	0,119
1° Cuartil	0,003	0,068	0,009
Mediana	0,005	0,169	0,028
3° Cuartil	0,006	0,334	0,067
Media	0,005	0,209	0,045
Varianza (n)	0,00001	0,02795	0,00195

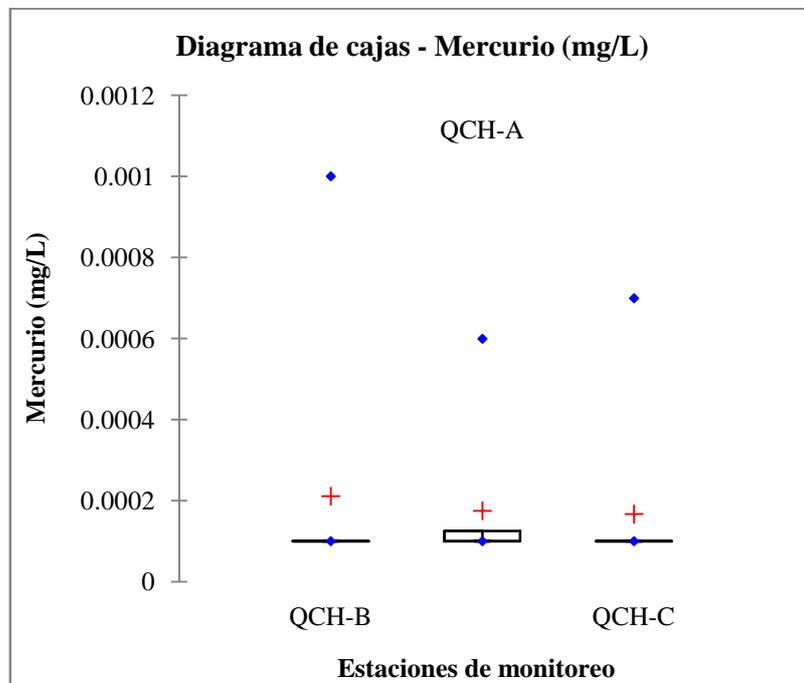
Figura 29. Diagrama de Cajas - Cobre



Cuadro 25. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Mercurio:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	0,0001	0,0001	0,0001
Máximo	0,0010	0,0006	0,0007
1° Cuartil	0,00010	0,00010	0,00010
Mediana	0,00010	0,00010	0,00010
3° Cuartil	0,00010	0,00013	0,00010
Media	0,00021	0,00018	0,00017
Varianza (n)	0,00000008	0,00000003	0,00000004

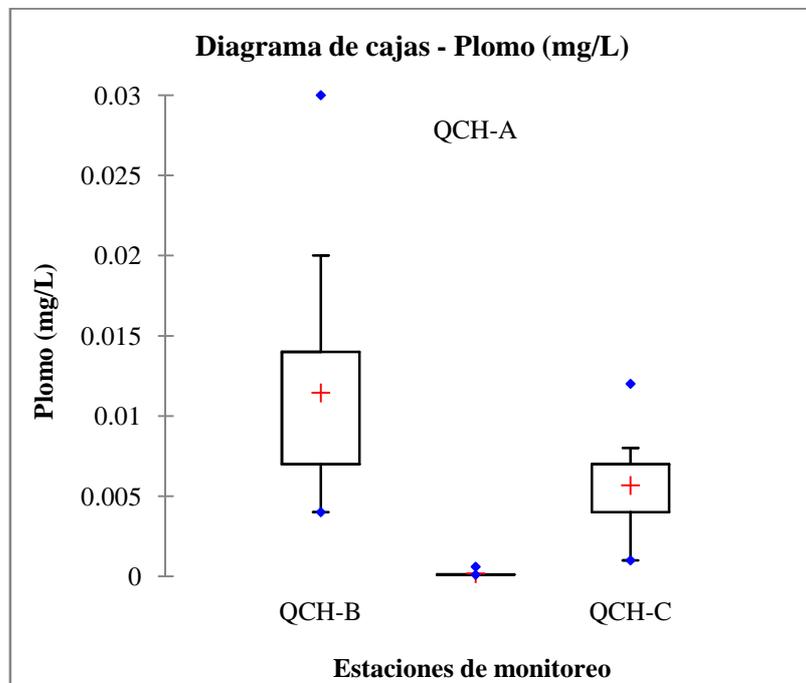
Figura 30. Diagrama de Cajas - Mercurio



Cuadro 26. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Plomo:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	0,0040	0,0001	0,0010
Máximo	0,0300	0,0006	0,0120
1° Cuartil	0,0070	0,0001	0,0040
Mediana	0,0070	0,0001	0,0070
3° Cuartil	0,0140	0,0001	0,0070
Media	0,0114	0,0002	0,0057
Varianza (n)	0,00006625	0,00000003	0,00001111

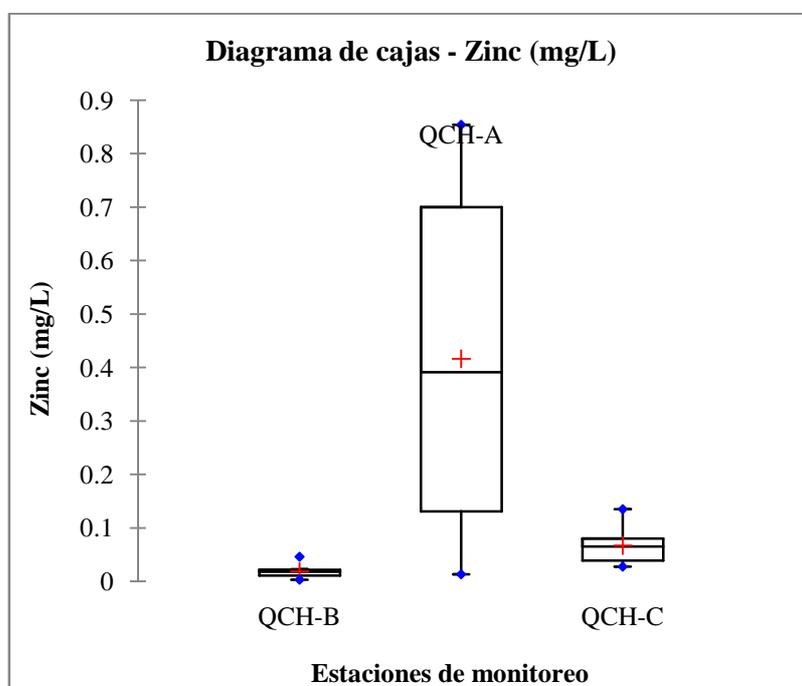
Figura 31. Diagrama de Cajas - Plomo



Cuadro 27. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Zinc:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	1	1	1
Suma de los pesos	8	8	8
Mínimo	0,003	0,013	0,028
Máximo	0,046	0,854	0,135
1° Cuartil	0,011	0,131	0,039
Mediana	0,018	0,391	0,065
3° Cuartil	0,022	0,700	0,080
Media	0,019	0,416	0,067
Varianza (n)	0,0001	0,0904	0,0011

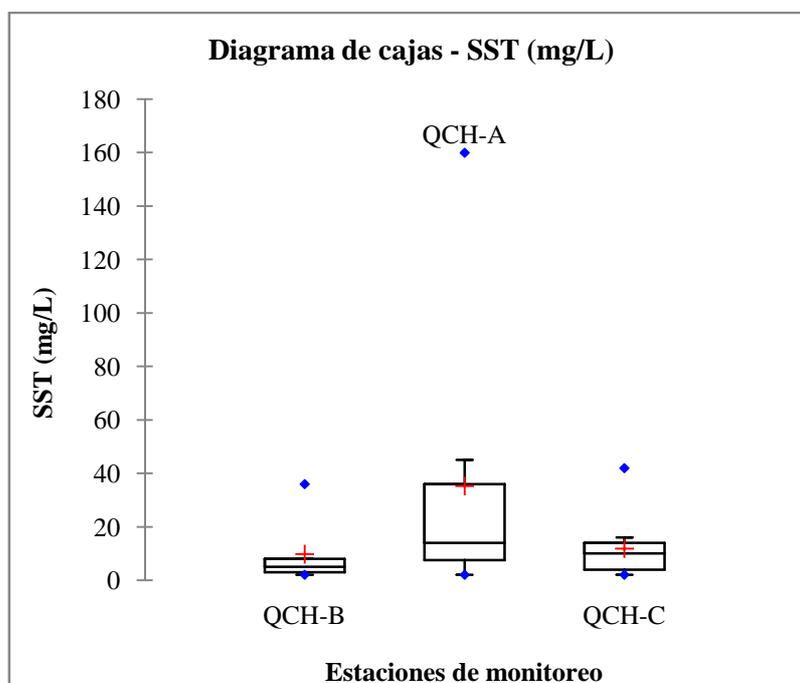
Figura 32. Diagrama de Cajas - Zinc



Cuadro 28. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) – Sólidos suspendidos totales:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	9	9	9
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	9	8	9
Mínimo	2,000	2,000	2,000
Máximo	36,000	160,000	42,000
1° Cuartil	3,000	7,500	4,000
Mediana	5,000	14,000	10,000
3° Cuartil	8,000	36,000	14,000
Media	9,778	35,250	11,889
Varianza (n)	123,951	2408,938	135,432

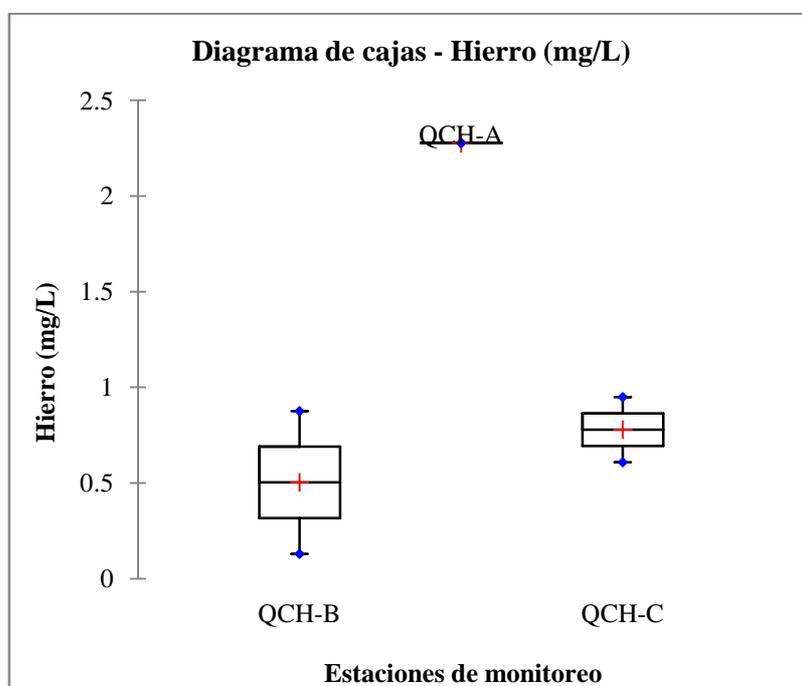
Figura 33. Diagrama de Cajas - SST



Cuadro 29. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Hierro:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	2	2	2
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	2	1	2
Mínimo	0,131	2,276	0,609
Máximo	0,876	2,276	0,949
1° Cuartil	0,317	2,276	0,694
Mediana	0,503	2,276	0,779
3° Cuartil	0,690	2,276	0,864
Media	0,503	2,276	0,779
Varianza (n)	0,139	0,000	0,029

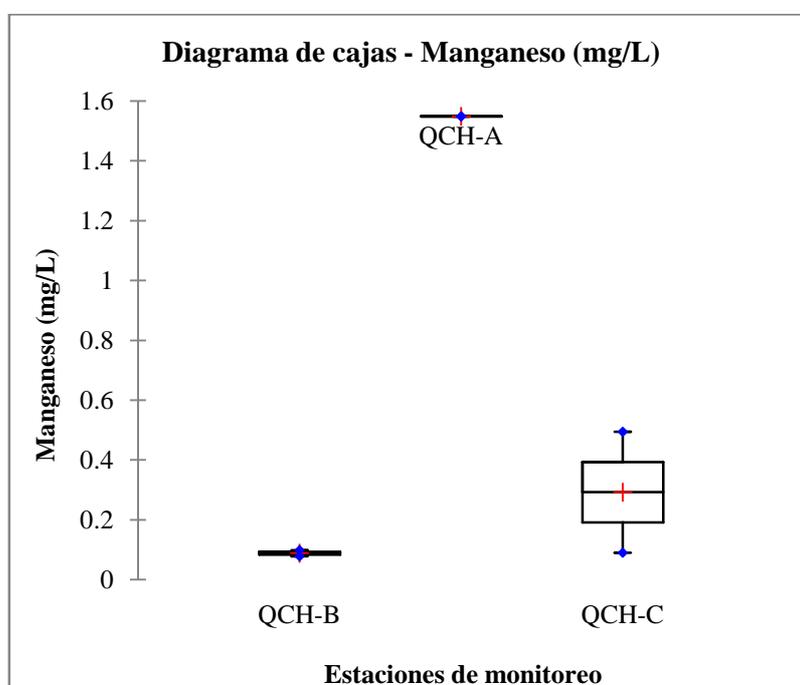
Figura 34. Diagrama de Cajas - Hierro



Cuadro 30. Estadísticas descriptivas (Datos cuantitativos) - Manganeso:

Estadística	QCH-B	QCH-A	QCH-C
No. de observaciones	2	2	2
No. de valores perdidos	0	1	0
Suma de los pesos	2	1	2
Mínimo	0,078	1,549	0,090
Máximo	0,098	1,549	0,494
1° Cuartil	0,083	1,549	0,191
Mediana	0,088	1,549	0,292
3° Cuartil	0,093	1,549	0,393
Media	0,088	1,549	0,292
Varianza (n)	0,0001	0,000	0,0408

Figura 35. Diagrama de Cajas - Manganeso



Interpretación:

En los diagramas de Cajas y Bigotes desarrollados se pudo observar cómo influye el efluente del botadero de desmonte (QCH-A) en el cuerpo receptor – Quebrada Chonta - (QCH-B), pues la variación de concentraciones de parámetros, entre las estaciones aguas arriba (QCH-B) y aguas abajo (QCH-C), resultó de la carga adicional de contaminantes proporcionada por el efluente (QCH-A).

Pese a la adición cargas contaminantes al cuerpo receptor, no en todos los casos ocurrió el incremento de las concentraciones; por el contrario, existen casos como son el

mercurio y el plomo donde se diluyeron las concentraciones, por lo que la concentración aguas abajo resultó menor que aguas arriba. A continuación se presenta el resumen de cambios que se evidenciaron.

- El caudal se incrementó al ingresar el efluente al cuerpo receptor.
- El pH no presentó variación con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- La temperatura se incrementó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- La conductividad eléctrica se vio ligeramente incrementada con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El oxígeno disuelto se incrementó ligeramente con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El arsénico incrementó ligeramente con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El cadmio se incrementó ligeramente con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El cobre se incrementó notablemente en el cuerpo receptor con el ingreso del efluente.
- El mercurio disminuyó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El plomo disminuyó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El zinc se incrementó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- Los sólidos suspendidos totales se incrementaron con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El hierro se incrementó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.
- El manganeso se incrementó con el ingreso del efluente al cuerpo receptor.

4.1.4. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN EXTREMA

Cuadro 31. Situación Extrema

Parámetro	Unidad	Valores de la Situación Extrema
Caudal del cuerpo receptor	L/s	63.6
Caudal del efluente	L/s	19.801
Temperatura	°C	10.26
CE	µS/cm	1508
As	mg/L	0.027
Cd	mg/L	0.034
Cu	mg/L	0.395
Hg	mg/L	0.0006
Pb	mg/L	0.015
Zn	mg/L	0.854
STS	mg/L	160
Fe	mg/L	2.276
Mn	mg/L	1.549

El mayor caudal registrado del efluente fue 19.801 L/s. Al escoger el valor de caudal de cuerpo receptor, se tomaron los valores de la estación QCH-B (aguas arriba del efluente), y se eligió el mínimo caudal que sea mayor al del efluente seleccionado. El resto de concentraciones consideradas para la Situación Extrema fueron tomadas en base a los resultados de los Diagramas de Cajas y Bigotes.

4.2. ANALISIS DEL CUERPO RECEPTOR – QUEBRADA CHONTA

4.2.1. EVALUACIÓN ESPACIAL

Los resultados de los cálculos de los ICA en las estaciones QCH-B y QCH-C, según ECA-Agua y según época (seca o húmeda) se encuentra en el Anexo 2.

A continuación se elaboró un cuadro con los valores de los ICA en el cuerpo receptor.

Cuadro 32. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta - Época Seca

ECA - Agua	Índices de Calidad Ambiental - ICA		
	QCH-B	100 m aguas debajo de QCH-A	QCH-C
Categoría 3	100	100	100
Categoría 1A	93.6	94.4	94.4
Categoría 4	74.7	68.2	74.8

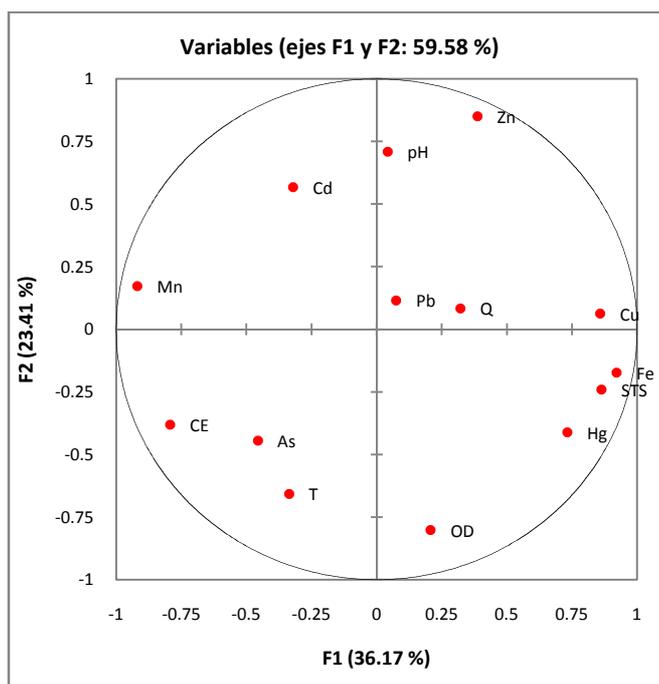
Cuadro 33. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta - Época Húmeda

ECA - Agua	Índices de Calidad Ambiental - ICA		
	QCH-B	100 m aguas debajo de QCH-A	QCH-C
Categoría 3	100	100	100
Categoría 1A	87.0	83.6	79.0
Categoría 4	60.9	60.7	57.2

4.2.2. EVALUACIÓN TEMPORAL – ANÁLISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES (APCP)

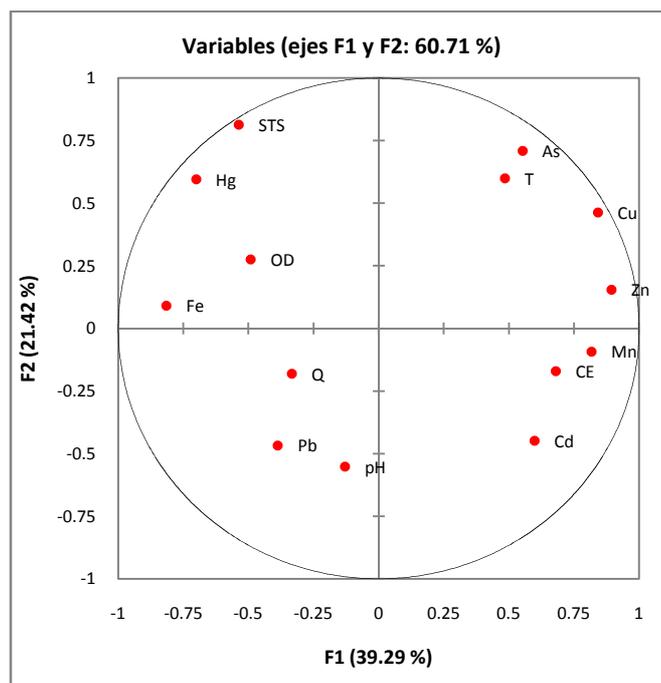
A continuación se presentan los gráficos donde se pudo evidenciar la relación entre los parámetros aguas arriba y aguas debajo de la descarga del efluente en el cuerpo receptor. De esta manera se determinaron los cambios debido a la influencia del efluente en dichas relaciones.

Figura 36. Aguas arriba



Variables	pH	T	CE	OD	Q	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	STS	Fe	Mn
pH	1	-0.499	-0.187	-0.534	0.144	-0.075	-0.024	-0.027	-0.222	0.035	0.704	-0.303	0.024	-0.024
T	-0.499	1	0.534	0.379	-0.294	0.073	0.050	-0.147	-0.075	-0.195	-0.813	-0.253	-0.071	0.071
CE	-0.187	0.534	1	-0.061	-0.552	0.585	-0.020	-0.611	-0.300	-0.281	-0.596	-0.570	-0.598	0.598
OD	-0.534	0.379	-0.061	1	0.378	0.202	-0.619	-0.111	0.244	0.321	-0.652	0.305	0.323	-0.323
Q	0.144	-0.294	-0.552	0.378	1	-0.134	-0.128	-0.002	-0.022	0.751	0.038	0.331	0.133	-0.133
As	-0.075	0.073	0.585	0.202	-0.134	1	-0.551	-0.500	0.136	-0.315	-0.344	-0.246	-0.458	0.458
Cd	-0.024	0.050	-0.020	-0.619	-0.128	-0.551	1	-0.020	-0.545	0.084	0.179	-0.304	-0.426	0.426
Cu	-0.027	-0.147	-0.611	-0.111	-0.002	-0.500	-0.020	1	0.735	-0.291	0.376	0.739	0.783	-0.783
Hg	-0.222	-0.075	-0.300	0.244	-0.022	0.136	-0.545	0.735	1	-0.362	0.056	0.812	0.672	-0.672
Pb	0.035	-0.195	-0.281	0.321	0.751	-0.315	0.084	-0.291	-0.362	1	-0.095	0.160	0.000	0.000
Zn	0.704	-0.813	-0.596	-0.652	0.038	-0.344	0.179	0.376	0.056	-0.095	1	0.096	0.205	-0.205
STS	-0.303	-0.253	-0.570	0.305	0.331	-0.246	-0.304	0.739	0.812	0.160	0.096	1	0.720	-0.720
Fe	0.024	-0.071	-0.598	0.323	0.133	-0.458	-0.426	0.783	0.672	0.000	0.205	0.720	1	-1.000
Mn	-0.024	0.071	0.598	-0.323	-0.133	0.458	0.426	-0.783	-0.672	0.000	-0.205	-0.720	-1.000	1

Figura 37. Aguas abajo



Variables	pH	T	CE	OD	Q	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	STS	Fe	Mn
pH	1	-0.544	0.277	-0.127	-0.381	-0.358	-0.229	-0.353	-0.198	0.118	-0.097	-0.355	0.165	-0.165
T	-0.544	1	0.175	0.151	-0.145	0.607	0.218	0.677	-0.102	-0.157	0.507	0.221	-0.314	0.314
CE	0.277	0.175	1	-0.362	-0.496	0.073	0.489	0.500	-0.440	-0.547	0.830	-0.522	-0.225	0.225
OD	-0.127	0.151	-0.362	1	0.234	-0.023	-0.523	-0.298	0.271	0.273	-0.488	0.345	0.298	-0.298
Q	-0.381	-0.145	-0.496	0.234	1	-0.302	0.002	-0.199	0.000	0.562	-0.353	-0.034	0.111	-0.111
As	-0.358	0.607	0.073	-0.023	-0.302	1	-0.201	0.801	-0.031	-0.390	0.486	0.282	-0.595	0.595
Cd	-0.229	0.218	0.489	-0.523	0.002	-0.201	1	0.239	-0.610	0.005	0.491	-0.649	-0.406	0.406
Cu	-0.353	0.677	0.500	-0.298	-0.199	0.801	0.239	1	-0.327	-0.513	0.880	-0.088	-0.622	0.622
Hg	-0.198	-0.102	-0.440	0.271	0.000	-0.031	-0.610	-0.327	1	-0.177	-0.446	0.915	0.750	-0.750
Pb	0.118	-0.157	-0.547	0.273	0.562	-0.390	0.005	-0.513	-0.177	1	-0.588	-0.156	0.000	0.000
Zn	-0.097	0.507	0.830	-0.488	-0.353	0.486	0.491	0.880	-0.446	-0.588	1	-0.351	-0.496	0.496
STS	-0.355	0.221	-0.522	0.345	-0.034	0.282	-0.649	-0.088	0.915	-0.156	-0.351	1	0.527	-0.527
Fe	0.165	-0.314	-0.225	0.298	0.111	-0.595	-0.406	-0.622	0.750	0.000	-0.496	0.527	1	-1.000
Mn	-0.165	0.314	0.225	-0.298	-0.111	0.595	0.406	0.622	-0.750	0.000	0.496	-0.527	-1.000	1

Interpretación:

En la estación aguas arriba el pH tiene correlación negativa con el oxígeno disuelto ($p = -0,534$) y positiva con el zinc ($p = 0,704$), esta situación cambia con el ingreso del vertimiento, ya que en la estación agua abajo, ya no existen dichas correlaciones, y se establece una nueva correlación negativa con la temperatura ($p = -0,544$).

En la estación aguas arriba la temperatura tiene correlación negativa con el zinc ($p = -0,813$) y positiva con la conductividad eléctrica ($p = 0,534$), mientras que aguas abajo la correlación con el zinc cambia a positiva ($p = 0,507$) y se correlaciona además negativamente con el pH ($p = -0,544$) y positivamente con el arsénico ($p = 0,607$) y el cobre ($p = 0,677$). La correlación con la conductividad eléctrica desaparece. Estos cambios se dan después del ingreso del vertimiento.

En la estación aguas arriba la conductividad eléctrica tiene correlación positiva con la temperatura ($p = 0,534$) y el arsénico ($p = 0,585$), y correlación negativa con el caudal ($p = -0,552$), el cobre ($p = -0,611$), zinc ($p = -0,596$) y los sólidos suspendidos totales ($p = -0,570$). Esto varía aguas abajo, con el ingreso del vertimiento, ya que la correlaciones con el cobre ($p = 0,5$) y el zinc ($p = 0,83$) cambian a positivas y se establece un nueva correlación negativa con el plomo ($p = -0,547$); ya no existe correlación con el caudal, la temperatura ni el arsénico. La correlación con los sólidos suspendidos totales se mantiene ($p = -0,522$).

En la estación aguas arriba el oxígeno disuelto tiene correlación negativa con el pH ($p = -0,534$), el cadmio ($p = -0,619$) y el zinc ($p = -0,652$), mientras que en la estación aguas abajo del vertimiento sólo se mantiene una correlación negativa con el cadmio ($p = -0,523$), pues ya no existe correlación con el pH y el zinc.

En la estación aguas arriba el caudal tiene una correlación negativa con la conductividad eléctrica ($p = -0,552$) y positiva con el plomo ($p = 0,751$). En la estación aguas abajo del vertimiento se mantiene la correlación positiva con el plomo ($p = 0,562$) y no existe correlación con la conductividad eléctrica.

En la estación aguas arriba el arsénico tiene correlación positiva con la conductividad eléctrica ($p = 0,585$) y correlación negativa con el cadmio ($p = -0,551$) y el cobre ($p = -0,5$). En la estación aguas abajo, el ingreso del vertimiento cambia la correlación con el cobre a positiva ($p = 0,801$) y se establece una nueva correlación positiva con la temperatura ($p = 0,607$); en este punto ya no existe correlación con el cadmio ni con la conductividad eléctrica.

En la estación aguas arriba el cadmio tiene correlación negativa con el oxígeno disuelto ($p = -0,619$), el arsénico ($-0,551$) y el mercurio ($p = -0,545$). En la estación aguas abajo del vertimiento se mantiene la correlación negativa con el oxígeno disuelto ($p = -0,523$) y el mercurio ($p = -0,61$), mientras que se establece una nueva correlación negativa con los sólidos suspendidos totales ($p = -0,649$) y desaparece la correlación con el arsénico.

En la estación aguas arriba el cobre se correlaciona negativamente con la conductividad eléctrica ($p = -0,611$) y el arsénico ($p = -0,5$), y positivamente con el mercurio ($p = 0,735$) y los sólidos suspendidos totales ($p = 0,739$). Después del vertimiento, en la estación aguas abajo, las correlaciones con la conductividad eléctrica ($p = 0,5$) y el arsénico ($p = 0,801$) cambian a positivas, existen nuevas correlaciones, positivas con el zinc ($p = 0,88$) y la temperatura ($p = 0,677$), y negativa con el plomo ($p = -0,513$). Las correlaciones con el mercurio y los sólidos suspendidos totales ya no se presentan aguas abajo.

En la estación aguas arriba el mercurio se correlaciona negativamente con el cadmio ($p = -0,545$) y positivamente con los sólidos suspendidos totales ($p = 0,812$). Aguas abajo, después del vertimiento, las correlaciones se mantienen con el cadmio ($p = -0,61$) y con los sólidos suspendidos totales ($p = 0,915$).

En la estación aguas arriba el plomo se correlaciona positivamente con el caudal ($p = 0,751$). Aguas abajo del vertimiento, se mantiene la correlación positiva con el caudal ($p = 0,562$); sin embargo surgen nuevas correlaciones negativas con la conductividad eléctrica ($p = -0,547$), el cobre ($p = -0,513$) y el zinc ($p = -0,588$).

En la estación aguas arriba el Zinc se correlaciona positivamente con el pH ($p = 0,704$), y negativamente con la temperatura ($p = -0,813$), la conductividad eléctrica ($p = -0,596$) y el oxígeno disuelto ($p = -0,652$). Esta situación cambia en la estación aguas abajo, después del vertimiento, las correlaciones con la temperatura ($p = 0,507$) y la conductividad eléctrica ($p = 0,83$) cambian a positivas, asimismo, surgen nuevas correlaciones, positiva con el cobre ($p = 0,88$) y negativa con el plomo ($p = -0,588$). En esta última estación no existen correlaciones del zinc con el oxígeno disuelto y el pH.

En la estación aguas arriba los sólidos suspendidos totales tienen una correlación negativa con la conductividad eléctrica ($p = -0,57$) y una correlación positiva con el cobre ($p = 0,739$) y el mercurio ($0,812$). Después del vertimiento, en la estación aguas abajo, las correlaciones con la conductividad eléctrica ($p = -0,522$) y el mercurio ($0,915$) se mantienen, mientras que se establece una nueva correlación con el cadmio ($p = -0,649$) y deja de existir la correlación con el cobre.

Finalmente se puede resaltar que aguas arriba la conductividad eléctrica era indirectamente proporcional al zinc y el cobre; sin embargo, aguas abajo, después de la adición del efluente y su respectiva concentración de los mencionados parámetros, esta relación se vuelve directamente proporcional. Es necesario tener en cuenta esta modificación ya que estos parámetros son importantes al calcular el ICA aguas arriba y aguas abajo.

4.3. ANÁLISIS DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE

4.3.1. APLICACIÓN DEL CORMIX 3 EN LA MODELACIÓN DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE EN LA QUEBRADA CHONTA - SITUACIÓN EXTREMA

Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación con el CORMIX 3:

Cuadro 34. Resultados de la simulación de la Situación Extrema

Características del Vertimiento	Resultados
Clase de Flujo	SA1
Distancia del Campo Cercano o Zona de Mezcla (ZM)	0.48 m
Evaluación de la flotabilidad	La densidad del efluente es menor que la del cuerpo receptor en el nivel de descarga
Mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla lateral y completamente a 1.82 m aguas abajo

Cuadro 35. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema

Parámetro	Unidad	C_{efluente}	C_{zm}	S_{inicial}	C_{100 m}	s	C_{2000m}	s	D_{ECA-3}	s	D_{ECA-1A}	s	D_{ECA-4}	s
CE	µS/cm	1508	569.1329	2.6	512.737122	2.9	448	3.4	0	1	0.47	1	-	-
As	mg/L	0.027	0.0102	2.6	0.00918	2.9	0.00802	3.4	0	1	0.68	2.7	0.68	2.7
Cd	mg/L	0.034	0.0128	2.6	0.01156	2.9	0.0101	3.4	*	*	*	*	*	*
Cu	mg/L	0.395	0.1491	2.6	0.134304	2.9	0.117	3.4	0.19	2	0		*	*
Hg	mg/L	0.0006	0.0002	2.6	0.000204	2.9	0.000178	3.4	0	1	0		*	*
Pb	mg/L	0.015	0.0057	2.6	0.0051	2.9	0.00446	3.4	0	1	0.04	1.5	*	*
Zn	mg/L	0.854	0.3223	2.6	0.29037	2.9	0.254	3.4	0	1	0	1	*	*
STS	mg/L	160	60.3855	2.6	54.401821	2.9	47.5	3.4	-	-	-	-	*	*
Fe	mg/L	2.276	0.859	2.6	0.773866	2.9	0.676	3.4	0.31	2.3	*	*	-	-
Mn	mg/L	1.549	0.5846	2.6	0.526678	2.9	0.460	3.4	*	*	*	*	-	-

Donde:

(*) Este específico ECA no se alcanzó dentro de la región de la pluma predicha.

(-) No presenta valores de ECA para dicho parámetro

S_{inicial}: Coeficiente de dilución inicial o Dilución inicial

s: Coeficiente de dilución

4.4. ANÁLISIS DEL VERTIMIENTO DEL EFLUENTE DEL BOTADERO DE DESMONTE CON LAS MEJORAS TÉCNICAS

4.4.1. APLICACIÓN DEL CORMIX 1 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°1 (TUBERÍA SUMERGIDA) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA

Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación con el CORMIX 1:

Cuadro 36. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 1

Características del Vertimiento	Resultados
Clase de Flujo	IPV4
Distancia del Campo Cercano o Zona de Mezcla (ZM)	0.70 m
Evaluación de la flotabilidad	La densidad del efluente es menor que la del cuerpo receptor en el nivel de descarga. Por lo tanto, el efluente es boyante positivo y tenderá a elevarse a la superficie
Comportamiento inestable en el Campo Cercano	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes
Mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano a 0.70 m aguas abajo y continua mezclado verticalmente en el Campo Lejano

Cuadro 37. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 1

Parámetro	Unidad	C _{efluente}	C _{zm}	S _{inicial}	C _{100m}	s	C _{2000m}	s	D _{ECA-3}	s	D _{ECA-1A}	S	D _{ECA-4}	s
CE	μS/cm	1508	446.183	3.4	446.182953	3.4	446	3.4	0		0	1	-	-
As	mg/L	0.027	0.008	3.4	0.007989	3.4	0.00799	3.4	0		0.21	2.7	0.21	2.7
Cd	mg/L	0.034	0.0101	3.4	0.01006	3.4	0.0101	3.4	*	*	*	*	*	*
Cu	mg/L	0.395	0.1169	3.4	0.116872	3.4	0.117	3.4	0	2	0		*	*
Hg	mg/L	0.0006	0.0002	3.4	0.000178	3.4	0.000178	3.4	0		0		*	*
Pb	mg/L	0.015	0.0044	3.4	0.004438	3.4	0.00444	3.4	0		0	1.5	*	*
Zn	mg/L	0.854	0.2527	3.3	0.252679	3.4	0.253	3.4	0		0		*	*
STS	mg/L	160	47.3404	3.4	47.340366	3.4	47.3	3.4	-	-	-	-	*	*
Fe	mg/L	2.276	0.6734	3.4	0.673417	3.4	0.673	3.4	0	2.3	*	*	-	-
Mn	mg/L	1.549	0.4583	3.4	0.458314	3.4	0.458	3.4	*	*	*	*	-	-

Donde:

(*) Este específico ECA no se alcanzó dentro de la región de la pluma predicha.

(-) No presenta valores de ECA para dicho parámetro

S_{inicial}: Coeficiente de dilución inicial o Dilución inicial

s: Coeficiente de dilución

4.4.2. APLICACIÓN DEL CORMIX 2 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°2 (MULTIPUERTO) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA

Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación con el CORMIX 2:

Cuadro 39. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 2

Características del Vertimiento	Resultados
Clase de Flujo	IMPU13
Distancia del Campo Cercano o Zona de Mezcla (ZM)	6.39 m
Evaluación de la flotabilidad	La densidad del efluente es menor que la del cuerpo receptor en el nivel de descarga. Por lo tanto, el efluente es boyante positivo y tenderá a elevarse a la superficie
Comportamiento inestable en el Campo Cercano	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes
Intrusión Aguas Arriba	La pluma muestra intrusión aguas arriba debido a la lenta velocidad ambiental o fuerte boyancia de la descarga
Mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano, pero se reestratifica después. La pluma se mezcla completa y verticalmente de nuevo a 6.39 m aguas abajo

Cuadro 40. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 2

Parámetro	Unidad	C _{efluente}	C _{zm}	S _{inicial}	C _{100m}	s	C _{2000m}	s	D _{ECA-3}	s	D _{ECA-1A}	s	D _{ECA-4}	s
CE	μS/cm	1508	451.8056	3.3	451.805603	3.3	452	3.3	0	1	6.39	3.3	-	-
As	mg/L	0.027	0.0081	3.3	0.008089	3.3	0.00809	3.3	0	1	6.39	3.3	6.39	3.3
Cd	mg/L	0.034	0.0102	3.3	0.010187	3.3	0.0102	3.3	*	*	*	*	*	*
Cu	mg/L	0.395	0.1183	3.3	0.118344	3.3	0.118	3.3	6.39	3.3	0	1	*	*
Hg	mg/L	0.0006	0.0002	3.3	0.00018	3.3	0.00018	3.3	0	1	0	1	*	*
Pb	mg/L	0.015	0.0045	3.3	0.004494	3.3	0.00449	3.3	0	1	6.39	3.3	*	*
Zn	mg/L	0.854	0.2559	3.3	0.255863	3.3	0.256	3.3	0	1	0	1	*	*
STS	mg/L	160	47.9369	3.3	47.936932	3.3	47.9	3.3	-	-	-	-	*	*
Fe	mg/L	2.276	0.6819	3.3	0.681903	3.3	0.682	3.3	6.39	3.3	*	*	-	-
Mn	mg/L	1.549	0.4641	3.3	0.464089	3.3	0.464	3.3	*	*	*	*	-	-

Donde:

(*) Este específico ECA no se alcanzo dentro de la región de la pluma predicha.

(-) No presenta valores de ECA para dicho parámetro

S_{inicial}: Coeficiente de dilución inicial o Dilución inicial

s: Coeficiente de dilución

4.4.3. APLICACIÓN DEL CORMIX 1 EN LA MODELACIÓN DEL EFLUENTE CON LA MEJORA TÉCNICA N°3 (TUBERÍA POR ENCIMA) EN LA QUEBRADA CHONTA – SITUACIÓN EXTREMA

Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación con el CORMIX 1:

Cuadro 41. Resultados de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 3

Características del Vertimiento	Resultados
Clase de Flujo	IPV4
Distancia del Campo Cercano o Zona de Mezcla (ZM)	1.21 m
Evaluación de la flotabilidad	La densidad del efluente es menor que la del cuerpo receptor en el nivel de descarga. Por lo tanto, el efluente es boyante positivo y tenderá a elevarse a la superficie
Comportamiento de inestabilidad en el Campo Cercano	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes
Mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano, pero se reestratifica después. La pluma se mezcla completa y verticalmente de nuevo a 401.14 m aguas abajo

Cuadro 42. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 3

Parámetro	Unidad	C _{efluente}	C _{zm}	S _{inicial}	C _{100m}	s	C _{2000m}	s	D _{ECA-3}	s	D _{ECA-1A}	s	D _{ECA-4}	s
CE	μS/cm	1508	504.4179	3	483.2547	3.1	469	3.2	0	1	0.25	1	-	-
As	mg/L	0.027	0.009	3	0.008652	3.1	0.0084	3.2	0	1	0.87	2.7	0.87	2.7
Cd	mg/L	0.034	0.0114	3	0.010896	3.1	0.0106	3.2	*	*	*	*	*	*
Cu	mg/L	0.395	0.1321	3	0.126582	3.1	0.123	3.2	0.47	2	0	1	*	*
Hg	mg/L	0.0006	0.0002	3	0.000192	3.1	0.000a187	3.2	0	1	0	1	*	*
Pb	mg/L	0.015	0.005	3	0.004807	3.1	0.00467	3.2	0	1	0.36	1.5	*	*
Zn	mg/L	0.854	0.2857	3	0.273673	3.1	0.266	3.2	0	1	0	1	*	*
STS	mg/L	160	53.5191	3	51.2737	3.1	49.8	3.2	-	-	-	-	*	*
Fe	mg/L	2.276	0.7613	3	0.729369	3.1	0.708	3.2	0.65	2.3	*	*	-	-
Mn	mg/L	1.549	0.5181	3	0.496394	3.1	0.482	3.2	*	*	*	*	-	-

Donde:

(*) Este específico ECA no se alcanzó dentro de la región de la pluma predicha.

(-) No presenta valores de ECA para dicho parámetro

S_{inicial}: Coeficiente de dilución inicial o Dilución inicial

s: Coeficiente de dilución

4.5. DETERMINACION DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA

Se compararon los resultados de la simulación de la Situación Extrema, con los resultados de las simulaciones considerando las 03 Mejoras Técnicas (SE + M1, SE + M2 y SE + M3), específicamente las concentraciones obtenidas a 100 m aguas abajo del vertimiento.

Cuadro 43. Comparación de los Concentraciones de los parámetros a 100 m

Parámetro	Unidad	C _{efluente}	SE	SE + M1	SE + M2	SE + M3
Distancia ZM (m)			0.48	0.7	6.39	1.21
Dilución inicial	2.6	3.4	3.3	3		
CE	µS/cm	1508	512.737122	446.182953	451.805603	483.2547
As	mg/L	0.027	0.00918	0.007989	0.008089	0.008652
Cd	mg/L	0.034	0.01156	0.01006	0.010187	0.010896
Cu	mg/L	0.395	0.134304	0.116872	0.118344	0.126582
Hg	mg/L	0.0006	0.000204	0.000178	0.00018	0.000192
Pb	mg/L	0.015	0.0051	0.004438	0.004494	0.004807
Zn	mg/L	0.854	0.29037	0.252679	0.255863	0.273673
STS	mg/L	160	54.401821	47.340366	47.936932	51.2737
Fe	mg/L	2.276	0.773866	0.673417	0.681903	0.729369
Mn	mg/L	1.549	0.526678	0.458314	0.464089	0.496394

SE: Situación Extrema

M1: Mejora Técnica N° 1

M2: Mejora Técnica N° 2

M3: Mejora Técnica N° 3

Se observa que se alcanzaron menores concentraciones a 100 m aguas abajo del vertimiento en la simulación de la Situación Extrema con la Mejora Técnica N° 1, por lo que la Mejora Técnica Óptima es la Mejora Técnica N° 1.

4.6. ANÁLISIS DE LA SITUACION REAL DEL VERTIMIENTO CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DE LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA

Con las condiciones de la Mejora Técnica optima se procedió a realizar las simulaciones de cada una de las campañas de monitoreo del vertimiento del efluente del Botadero de Desmonte, para de esta manera, calcular la disminución de las concentraciones de los parámetros a 100 m aguas abajo del vertimiento, para comprobar su eficiencia.

Cuadro 44. Concentraciones y Distancias obtenidas de la simulación de las campañas de monitoreo del efluente del Botadero de Desmonte con la Mejora Técnica Óptima

Campaña	Parámetro	Unidad	C _{efluente}	C _{zm}	S _{inicial}	C _{100m}	s	C _{2000m}	s	D _{ECA-3}	s	D _{ECA-1A}	s	D _{ECA-4}	s
mar-11	CE	μS/cm	435.8	113.898	3.8	7.531819	57.9	7.53	57.9	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.027	0.0071	3.8	0.000467	57.9	0.000467	57.9	0	1	0.05	2.7	0.05	2.7
	Cd	mg/L	0.0038	0.001	3.8	0.000066	57.9	0.0000657	57.9	0	1	0.01	1.3	0	1
	Cu	mg/L	0.077	0.0201	3.8	0.001331	57.9	0.00133	57.9	0	1	0	1	0.77	3.9
	Hg	mg/L	0.0006	0.0002	3.8	0.00001	57.9	0.0000104	57.9	0	1	0	1	1.46	9.5
	Pb	mg/L	0.015	0.0039	3.8	0.000259	57.9	0.000259	57.9	0	1	0.01	1.5	2.05	16.2
	Zn	mg/L	0.3256	0.0851	3.8	0.005627	57.9	0.00563	57.9	0	1	0	1	1.9	14.5
	STS	mg/L	160	41.8166	3.8	2.765239	57.9	2.77	57.9	-	-	-	-	1.52	10.2
	Fe	mg/L	2.276	0.5948	3.8	0.039336	57.9	0.0393	57.9	0.03	2.3	1.66	11.8	-	-
Mn	mg/L	1.549	0.4048	3.8	0.026771	57.9	0.0268	57.9	1.68	12	2.06	16.4	-	-	
jun-11	CE	μS/cm	131	38.4173	3.4	20.472881	7.5	12.3	10.6	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.0007	0.0002	3.4	0.000109	7.5	0.0000658	10.6	0	1	0	1	0	1
	Cd	mg/L	0.004	0.0012	3.4	0.000625	7.5	0.000376	10.6	0	1	0	1.3	0	1
	Cu	mg/L	0.314	0.0921	3.4	0.049075	7.5	0.0295	10.6	0	1.6	0	1	*	*
	Hg	mg/L	0.0001	0	3.4	0.000016	7.5	0.0000094	10.6	0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.007	0.0021	3.4	0.001094	7.5	0.000658	10.6	0	1	0	1	122.6	8.2
	Zn	mg/L	0.14	0.0411	3.4	0.021879	7.5	0.0132	10.6	0	1	0	1	5.24	4.7
	STS	mg/L	6	1.7596	3.4	0.937689	7.5	0.564	10.6	-	-	-	-	0	1
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
set-12	CE	μS/cm	515	8.4814	60.7	7.7219	67.4	6.92	74.4	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.0013	0	60.7	0.000019	67.4	0.0000175	74.4	0	1	0	1	0	1
	Cd	mg/L	0.002	0	60.7	0.00003	67.4	0.0000269	74.4	0	1	0	1	0	1
	Cu	mg/L	0.042	0.0007	60.7	0.00063	67.4	0.000565	74.4	0	1	0	1	51.30	-209.3
	Hg	mg/L	0.0002	0	60.7	0.000003	67.4	0.00000269	74.4	0	1	0	1	54.11	-222.1
	Pb	mg/L	0.007	2.56	60.7	0.000105	67.4	0.0000941	74.4	0	1	0	1	11.88	-30.3
	Zn	mg/L	0.104	0.0017	60.7	0.001559	67.4	0.0014	74.4	0	1	0	1	29.10	-108.5

Campaña	Parámetro	Unidad	C_{efluente}	C_{zm}	S_{inicial}	C_{100m}	s	C_{2000m}	s	D_{ECA-3}	s	D_{ECA-1A}	s	D_{ECA-4}	s
	STS	mg/L	8	0.1318	60.7	0.119952	67.4	0.108	74.4	-	-	-	-	0	1
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
dic-12	CE	μS/cm	638	181.9181	3.5	30.338146	22.1	23	27.7	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.0037	0.0011	3.5	0.000176	22.1	0.000134	27.7	0	1	0	1	0	1
	Cd	mg/L	0.006	0.0017	3.5	0.000285	22.1	0.000271	27.7	0	1	0.01	2	0	1
	Cu	mg/L	0.209	0.0596	3.5	0.009938	22.1	0.00754	27.7	0	1	0	1	9.09	10.5
	Hg	mg/L	0.0001	0.0000285	3.5	0.000005	22.1	0.00000361	27.7	0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.007	0.002	3.5	0.000333	22.1	0.000253	27.7	0	1	0	1	6.33	7.0
	Zn	mg/L	0.681	0.1942	3.5	0.032501	22.0	0.0246	27.7	0	1	0	1	135.63	23.8
	STS	mg/L	13	3.7068	3.5	0.618175	22.1	0.469	27.7	-	-	-	-	0	1
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
mar-13	CE	μS/cm	1508	360.1437	4.2	19.625065	76.8	19.6	76.8	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.011	0.0026	4.2	0.000143	76.8	0.000143	76.8	0	1	0	1.1	0	1.1
	Cd	mg/L	0.0009	0.0002	4.2	0.000012	76.8	0.0000117	76.8	0	1	0	1	0	1
	Cu	mg/L	0.129	0.0308	4.2	0.001679	76.8	0.00168	76.8	0	1	0	1	1.24	12.8
	Hg	mg/L	0.0001	0.0000239	4.2	0.000001	76.8	0.0000013	76.8	0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.014	0.0033	4.2	0.000182	76.8	0.000182	76.8	0	1	0.01	1.4	1.71	21.4
	Zn	mg/L	0.756	0.1805	4.2	0.009839	76.8	0.00984	76.8	0	1	0	1	1.97	25.4
	STS	mg/L	15	3.5823	4.2	0.19521	76.8	0.195	76.8	-	-	-	-	0	1
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
set-13	CE	μS/cm	708	90.4789	7.8	14.026978	79.2	5.39	131.3	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.005	0.0006	7.8	0.000099	79.2	0.0000381	131.3	0	1	0	1	0	1
	Cd	mg/L	0.011	0.0014	7.8	0.000218	79.2	0.0000838	131.3	0.05	2.2	0.14	3.7	0.08	2.8
	Cu	mg/L	0.5	0.0639	7.8	0.009906	79.2	0.00381	131.3	0.07	2.5	0	1	4.7	25
	Hg	mg/L	0.0001	0.0000128	7.8	0.000002	79.2	0.000000762	131.3	0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.006	0.0008	7.8	0.000119	79.2	0.0000457	131.3	0	1	0	1	0.27	6
	Zn	mg/L	0.854	0.1091	7.8	0.01692	79.2	0.00651	131.3	0	1	0	1	5.17	28.5
	STS	mg/L	45	5.7508	7.8	0.891545	79.2	0.343	131.3	-	-	-	-	0.03	1.8
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
dic-13	CE	μS/cm	705	3.4057	207.0					0	1	0	1	-	-

Campaña	Parámetro	Unidad	C _{efluente}	C _{zm}	S _{inicial}	C _{100m}	s	C _{2000m}	s	D _{ECA-3}	s	D _{ECA-1A}	s	D _{ECA-4}	s
	As	mg/L	0.005	0.0000242	207.0					0	1	0	1	0	1
	Cd	mg/L	0.0018	0.0000087	207.0					0	1	0	1	0	1
	Cu	mg/L	0.005	0.0000242	207.0					0	1	0	1	0	1
	Hg	mg/L	0.0001	0.000000483	207.0					0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.001	0.00000483	207.0					0	1	0	1	0	1
	Zn	mg/L	0.013	0.0000628	207.0					0	1	0	1	0	1
	STS	mg/L	2	0.00966	207.0					-	-	-	-	0	1
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
mar-14	CE	μS/cm	821.7(*)	218.0454	3.8	52.724884	29.0	15.1	54.2	0	1	0	1	-	-
	As	mg/L	0.0166	0.0044	3.8	0.001065	29.0	0.000306	54.2	0	1	0.01	1.7	0.01	1.7
	Cd	mg/L	0.034	0.009	3.8	0.002182	29.0	0.000627	54.2	4.07	6.8	42.15	16.9	6.82	8.5
	Cu	mg/L	0.395	0.1048	3.8	0.025345	29.0	0.00728	54.2	0.02	2.0	0	1	132.52	35.8
	Hg	mg/L	0.0001	0.0000265	3.8	0.000006	29.0	0.00000184	54.2	0	1	0	1	0	1
	Pb	mg/L	0.004	0.0011	3.8	0.000257	29.0	0.0000737	54.2	0	1	0	1	0.80	4.0
	Zn	mg/L	0.457	0.1213	3.8	0.029324	29.0	0.00842	54.2	0	1	0	1	96.44	28.2
	STS	mg/L	33	8.7568	3.8	2.117109	29.0	0.608	54.3	-	-	-	-	0.01	1.3
	Fe	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mn	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación con el CORMIX 1:

Cuadro 45. Resultados de la simulación por Campanías de Monitoreo con la Mejora Técnica Óptima

Características del Vertimiento	Resultados							
	Mar-11	Jun-11	Set-12	Dic-12	Mar-13	Set-13	Dic-13	Mar-14
Clase de Flujo	IPV4	IPV4	IPV5	IPV4	IPV4	IPV3	IPV5	IPV4
Distancia del Campo Cercano o Zona de Mezcla (ZM)	0.75 m	0.71 m	2.56 m	0.72 m	0.77 m	0.38 m	95.67 m	0.74 m
Evaluación de la flotabilidad	La densidad del efluente es menor que la del cuerpo receptor en el nivel de descarga. Por lo tanto, el efluente es BOYANTE POSITIVO y tenderá a elevarse a la superficie							
Comportamiento de inestabilidad en el Campo Cercano	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes	-	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes	-	-	El flujo de descarga experimentará inestabilidades con mezcla completa vertical en el Campo Cercano. Podría haber impacto bentónico por altas concentraciones de contaminantes
Mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano pero se reestratifica después. La pluma se mezcla vertical y completamente de nuevo a 7.62 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano pero se reestratifica después. La pluma se mezcla vertical y completamente de nuevo a 204.9 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano pero se reestratifica después. La pluma se mezcla vertical y completamente de nuevo a 202.31 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano pero se reestratifica después. La pluma se mezcla vertical y completamente de nuevo a 212.84 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano a 0.77 m aguas abajo y continúa mezclado verticalmente en el Campo Lejano. La pluma se mezcla vertical y completamente a 11.83 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente a 205.09 m aguas abajo y lateral y completamente a 5.66 m aguas abajo	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano a 0 m aguas abajo, pero se reestratifica después y no se mezcla en el Campo Lejano	La pluma se mezcla vertical y completamente dentro del Campo Cercano, pero se reestratifica después. La pluma se mezcla vertical y completamente de nuevo a 406.76 m aguas abajo
Intrusión de	-	-	La pluma exhibe	-	-	-	La pluma exhibe una	

Aguas arriba			<p>una intrusión de aguas arriba debido a la baja velocidad ambiental o fuerte flotabilidad de la descarga. Longitud de la intrusión: 0.09 m</p>				<p>intrusión aguas arriba debido a la baja velocidad ambiental o la fuerte flotabilidad de la descarga. Longitud de la intrusión: 53.96 m. En este caso la intrusión de aguas arriba es muy grande, excediendo 10 veces la profundidad local del cuerpo receptor. Esto puede ser causado por la baja velocidad ambiental, quizás en combinación con la alta flotabilidad del efluente, o de otra manera, una fuerte estratificación ambiental. Si las condiciones ambientales son bastante inestables, las predicciones de estado estable del CORMIX de la intrusión de aguas arriba son probablemente irrealistas. Las predicciones de la pluma en el inmediato Campo Cercano, antes de la formación de la capa de intrusión, sin embargo, son aceptables.</p>	
--------------	--	--	--	--	--	--	---	--

4.7. CÁLCULO DEL ICA EN EL CUERPO RECEPTOR COMO RESULTADO DEL DISEÑO DEL VERTIMIENTO CON LA MEJORA TÉCNICA ÓPTIMA

Los resultados de los cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo del vertimiento según los ECA – Agua y según época (seca o húmeda) se encuentra en el Anexo 2.

A continuación se elaboró un cuadro con los valores de los ICA a 100 m del vertimiento, considerando la aplicación de la Mejora Técnica Óptima.

Cuadro 46. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Seca

ECA - Agua	Estaciones	
	<i>QCH-B</i>	100 m aguas abajo de QCH-A
Categoría 3	100	100
Categoría 1A	93.6	94.4
Categoría 4	74.7	79.4

Cuadro 47. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Húmeda

ECA - Agua	Estaciones	
	<i>QCH-B</i>	100 m aguas abajo de QCH-A
Categoría 3	100	100
Categoría 1A	87.0	96
Categoría 4	60.9	86.8

4.8. COMPARACIÓN DE LOS ICA EN EL CUERPO RECEPTOR

A continuación se presentan los resultados de los ICA a 100 m aguas abajo del vertimiento según los ECA – Agua y según época (seca o húmeda); de la situación real, así como de la aplicación de la Mejora Técnica Óptima.

Cuadro 48. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Seca

ECA - Agua	Estaciones			
	<i>QCH-B</i>	100 m aguas abajo de QCH-A	100 m aguas abajo de QCH-A (con Mejora Técnica Óptima)	QCH-C
Categoría 3	100	100	100	100
Categoría 1A	93.6	94.4	94.4	94.4
Categoría 4	74.7	68.2	79.4	74.8

Cuadro 49. Valores de los ICA en la Quebrada Chonta con la Mejora Técnica Óptima - Época Húmeda

ECA - Agua	Estaciones			
	<i>QCH-B</i>	100 m aguas abajo de QCH-A	100 m aguas debajo de QCH-A (con Mejora Técnica Óptima)	QCH-C
Categoría 3	100	100	100	100
Categoría 1A	87.0	83.6	96	79.0
Categoría 4	60.9	60.7	86.8	57.2

Interpretación:

- Los ICA en el cuerpo receptor aguas arriba del vertimiento, durante la época seca y húmeda, correspondiente al ECA-Agua Categoría 3, muestran valores altos, debido a que dicho cuerpo receptor cumple con los valores de dicho ECA.
- Los ICA en el cuerpo receptor, correspondiente al ECA - Agua Categoría 1A, presentan valores más altos durante la época seca, y hacia aguas abajo presentan una leve disminución. Mientras que durante la época húmeda, presentan valores medios, los cuales disminuyen hacia aguas abajo, evidenciando una disminución de la calidad del agua por efecto del vertimiento del efluente.
- Los ICA calculados en la Quebrada Chonta, correspondientes al ECA - Agua Categoría 4, también presentan valores más altos durante la época seca, y aumenta muy poco hacia aguas abajo. Mientras que durante la época húmeda, presentan valores más bajos, los cuales disminuyen hacia aguas abajo.
- En cuanto la Categoría del ECA - Agua sea más estricto, su cálculo dentro de la misma quebrada, se pudo observar que registran menores valores de ICA; además durante la época seca se registran valores más altos de ICA a

comparación a los de época húmeda, debido al aumento del caudal y a su posible contribución de contaminantes aguas arriba del vertimiento.

- Luego del análisis del vertimiento del efluente a la Quebrada Chonta a través del CORMIX 3, basado en la Situación Extrema, se determinó que presentaba un flujo de clase SA1, además de una distancia de Campo Cercano (0.48 m) y Lejano (1.82 m) bastante cortas, de manera que en dichas condiciones el vertimiento presenta una mezcla en una distancia corta. Sin embargo, hay algunas Categorías de los ECA que no se logran cumplir dentro de los 2000 m de análisis del CORMIX, como es el caso del Cadmio y del Manganeso, además así como el Hg, Pb y Zn en el caso de la Categoría 4.
- En la aplicación de las Mejoras Técnicas, en el caso de la Mejora Técnica N° 1, la cual presenta una clase de flujo IPV4, y una distancia del Campo Cercano de 0.70 m, también muestra que hay varias Categorías de los ECA que aun no los alcanzan dentro de los 2000 m, sin embargo presentan disminución de las concentraciones a los 100 m
- En el caso de la Mejora Técnica N° 2, presenta una clase de flujo IMPU13, y una distancia del Campo Cercano de 6.39 m, también muestra que varias Categorías del ECA, en especial de la Categoría 4, no cumplen dentro de los 2000 m.
- En el caso de la Mejora Técnica N° 3, presenta una clase de flujo IPV4, y una distancia del Campo Cercano de 1.21 m, además de presentar que algunas de las Categorías de los ECA no se logran alcanzar dentro de los 2000 m.
- La determinación de la Mejora Técnica Optima se realizo en base a las concentraciones obtenidas a los 100 m, y se eligió a la Mejora Técnica N° 1 debido a que registro las concentraciones menores.
- Luego de aplicar dicha Mejora Técnica en los valores de los parámetros de las campañas de monitoreo, y de su simulación con el CORMIX 1, se obtuvieron los valores de los parámetros a los 100 m de distancia del vertimiento, de manera que se calcularon los ICA con dichas concentraciones.
- En el caso de la simulación de la campaña de diciembre de 2013, no se obtuvieron datos reales debido a que se registro un alto caudal del efluente a

comparación del caudal del cuerpo receptor, generando condiciones inestables, los cuales el CORMIX no es capaz de procesar, motivo por el cual se decidió prescindir de dicha campaña, ya que registraba una alta intrusión de aguas arriba.

- Los ICA calculados luego de la simulación de la situación real con la Mejora Técnica Óptima, mostraron un incremento en la calidad del cuerpo receptor, algo ligero en la época seca, y más considerable durante la época húmeda, de manera que se observó que efectivamente la Mejora Técnica Óptima contribuyó en la mejora de la calidad del agua en el cuerpo receptor.

V. CONCLUSIONES

- Se mejoró el Diseño del Vertimiento del efluente minero en la Quebrada Chonta. Para ello se procesaron los datos de monitoreo y se determinó una Situación Extrema en base a las más altas concentraciones y caudal registrados en el efluente, así como el caudal mínimo del cuerpo receptor, posteriormente se modelaron las posibles mejoras en el diseño del vertimiento utilizando el modelo de dispersión de contaminantes – CORMIX, eligiendo la Mejora Técnica N° 1 como la mejor alternativa.
- Se realizó el diagnóstico del diseño del actual vertimiento de efluente, el cual tenía las siguientes características:
 - El efluente de la planta de tratamiento no descarga directamente en la quebrada Chonta. Existe un canal de descarga intermedio, que no se encuentra protegido del contacto directo con el suelo.
 - El canal de descarga no presenta dimensiones uniformes; sin embargo, se determinó un ancho promedio de 0.5 m, con una profundidad de 0.3 m y con un ángulo de descarga perpendicular al cuerpo receptor ($\sigma = 90^\circ$).
- Así mismo, para determinar el posible impacto de este vertimiento en el cuerpo receptor, se calculó el ICA a los 100 m aguas abajo del vertimiento del efluente, obteniéndose 68.2 en época seca y 60.7 en época húmeda, representando una calidad menor respecto a la calidad aguas arriba, 74.7 y 60.9 para época seca y húmeda respectivamente.
- Se propuso la Mejora Técnica N° 1 que consiste en una tubería sumergida que descargue el efluente en el cuerpo receptor, de 0.04 m de diámetro y a una altura de 0.6 m del fondo de la quebrada.
- Se propuso la Mejora Técnica N° 2 que consiste en un vertimiento multipuerto sumergido (10 puertos), con una alineación de $\gamma = 90^\circ$ y una distancia al banco más cercano de 0.1 m. La descarga de los puertos se haría a 0.5 m del fondo de la quebrada y el diámetro sería de 0.01m.
- Se propuso la Mejora Técnica N° 3 que consiste en una tubería a 0.7 m por encima de la quebrada, un diámetro de 0.08 m y un ángulo de descarga vertical de $\theta = 30^\circ$.

VI. RECOMENDACIONES

- Implementar un proceso de reutilización de agua residual proveniente del botadero de desmonte, para procurar así ingresar menor caudal de efluente en el cuerpo receptor, de manera que evitar la afectación
- Colocar una tubería o en su defecto impermeabilizar el canal que conduce el efluente, desde la planta de tratamiento hacia la quebrada Chonta, ya que en la actualidad solo se cuenta con una canal de mampostería, el cual podría alterar la calidad del efluente tratado, con el incremento de algunos parámetros debido al arrastre de sedimentos o con la disminución de otros debido a la infiltración en el suelo.
- Proponer un punto de monitoreo a la salida de la planta de tratamiento del efluente para tener datos reales de las concentraciones de los parámetros que aporta el botadero de desmontes al medio ambiente y su alteración durante el recorrido hacia el cuerpo receptor.
- Proponer un sistema de tratamiento para el efluente de botadero de desmonte adicional al existente, como la instalación de Humedales Aerobios (wetland) el cual ayude a la disminución de la acidez, a la precipitación de los metales pesados y a la eliminación de sustancias contaminantes del efluente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2012. Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reuso de Aguas Residuales Tratadas. Capítulo II-De los Criterios Generales para el Otorgamiento de Autorización de Vertimiento de aguas Residuales Tratadas. Art. 20.

APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st. Ed. Washington, EE. UU.

Brack, A., Mendiola, C. 2000. Ecología del Perú. Perú.

Calzada, M. 2011. Evacuación de salmueras procedentes de estaciones desaladoras. Aplicación del modelo CORMIX. Tesis de maestría. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. La Habana.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2001. Canadian water Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual. Canada.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2001. Canadian water Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index 1.0 Technical Report. Canadá.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2001. Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales.

Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.

Decreto Supremo N° 016-93-EM. Reglamento para la protección ambiental en la actividad minero-metalúrgica.

DGAAM (Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros) del MINEM. S.f. Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-Metalúrgicas.

Decreto Legislativo N° 1055. Que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, Aprueban Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Decreto Supremo N° 017-2009-AG, Aprueban Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor.

Díaz, L. 2010. Estudio Comparativo de Índices de la Calidad del Agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa. Tesis de Maestría en Ciencias M/Química. Universidad Católica del Norte. Chile.

Dirección General del Agua del MMA (Ministerio del Medio ambiente). 2007. Manual para la gestión de vertidos, Autorización de vertido. España. Pp. 145.

Fernando, H. 2012. Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume one: Overview and Fundamentals.

Flores, J. 1997. Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan en el Estado de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León - México.

Gómez, Z. 2001. Variabilidad espacio-temporal del nitrógeno e iones mayores en la cuenca del río Pachitea, Perú.

Gyamfi, C., Boakye, R., Awuah, E., Anyemedu, F. 2013. Application of the CCME WQI Model in Assessing the Water Quality of the Aboabo River, Kumasi / Ghana.

Hakanson, L., Parparov A., Ostapenia, A., Boulion, VV., Hambright, KD. 2000. Development of a system of water quality as a tool for management. Final report to INTAS, Uppsala University, Department of Earth Science. Pp. 19.

Holdridge, L. 1967. Life Zone Ecology.

Hygeomin Perú S.A.C. 2013. Expediente de Autorización de Vertimiento de Aguas Residuales Industriales Tratadas de la Unidad Minera Anabi.

IH Cantabria. 2009. Proyecto MEDVSA (Metodología de Diseño de los Vertidos de Salmuera) Anexo 1 Fichas descriptivas de los modelos comerciales, Ficha 2 Teoría de chorros y Plumas dispersas. Instituto de Hidráulica Ambiental, Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.

Jirka, G., Doneker, R. y Hinton, S. 1996. User's Manual for Cormix: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision support system for Pollutant discharges into surface waters.

Jolánkai, G. 1992. Hydrological, chemical and biological processes of contaminant transformation and transport in river and lake systems. A state of the art report, technical Documents in Hydrology, UNESCO

Khan, A., Paterson, R. y Khan, H. 2004. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. Water Quality Research Journal of Canadá. Pág. 39 y 258.

Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

Ley N° 28611. Ley General del Ambiente.

López, A., Mercado, Y. 2012. Control de Flotabilidad de un vehículo sumergible. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.

Menéndez, A. 1992. Modelación Matemática del Transporte en Cuerpos de Agua. Maestría en Gestión del Agua

Merizalde, M. 2008. Determinación de los parámetros oceanográficos y ambientales para la colocación de un emisario subfluvial en el río Guayas. Tesis de Grado de Oceanógrafo. Escuela Superior politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas). 2007. Guía para la Evaluación de Impactos en la Calidad de las Aguas Superficiales por actividades minero metalúrgicas. Lima-Perú.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas). 2009. Perú: Un país minero lleno de oportunidades. Lima-Perú.

Munna, G., Chowdhury, M., Masrura, Chowdhury, S. alum, M. 2013. A Canadian water Quality guideline - Water Quality index (CCME-WQI) based assessment study of water quality in Surma River.

Okolodkov, Y., 2010. Biogeografía Marina. Universidad Autónoma de Campeche. México. Pp 203

Resolución Directoral N° 112-2010-ANA-DGCRH. 2010. Autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas procedentes del Botadero de la Mina Anabi.

Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y Marino - Costeros.

Resolución Jefatural N 224-2013-ANA, Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reuso de Aguas Residuales Tratadas.

Revista Rumbo Minero. 2013. Minería y Contaminación Ambiental. Publicado el 05 de febrero del 2013.

Revista Ingenierías. 2009. Universidad de Medellín, vol. 8, No 15 especial, pp. 79-94. Julio - Diciembre de 2009 / 150 p. Medellín, Colombia.

Roberts, P. Salas, H. Reiff, M. Libhaber, M. y Labbe, A. 2010. Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems. Londres.

Rodi, W., Uhlmann, M. 2012. Environmental Fluid Mechanics: memorial Volume in honor of Prof. Gerhard H. Jirka.

Rodríguez, R. 2000. Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.

Tecnología XXI S.A. 2009. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Explotación y Beneficio "Anabi".

Tecnología XXI S.A. 2013. Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Explotación "Anabi".

Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. 2009. Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Medellín, Colombia.

Torres, F. 2009. Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Puerto rico. Puerto Rico.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2007. Global Environment Monitoring System (GEMS). Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. Ontario, Canadá.

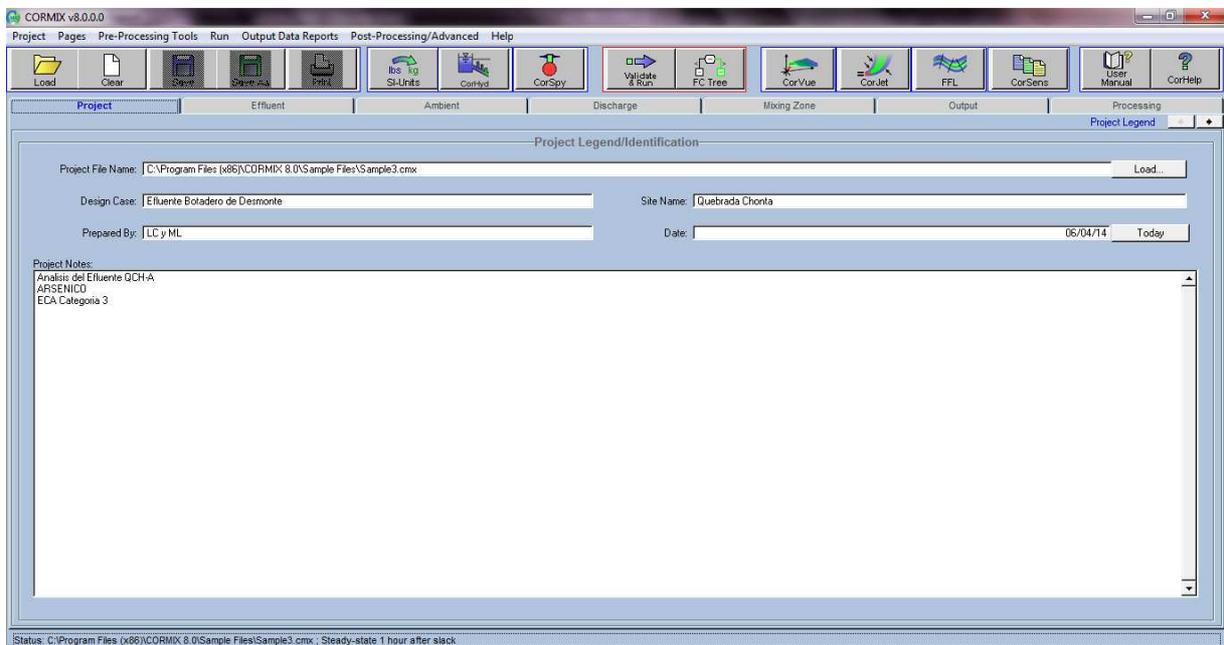
U.S. EPA. 1991. Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control. U.S. EPA Office of Water. Washington, EE.UU.

U.S. EPA. 1991. Assessment and Control of Bioconcentratable Contaminants in Surface Waters. U.S. EPA Office of Water. Washington, EE.UU

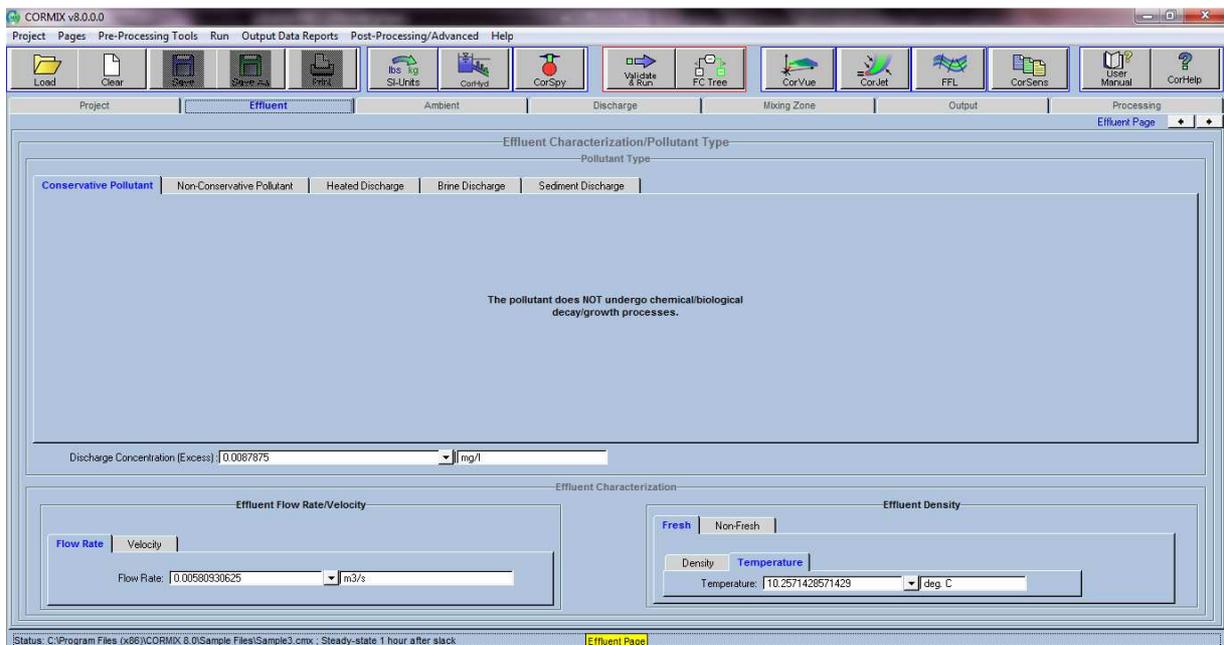
VIII. ANEXOS

Anexo 1: Pasos a seguir para el Modelamiento con CORMIX 1, 2 y 3

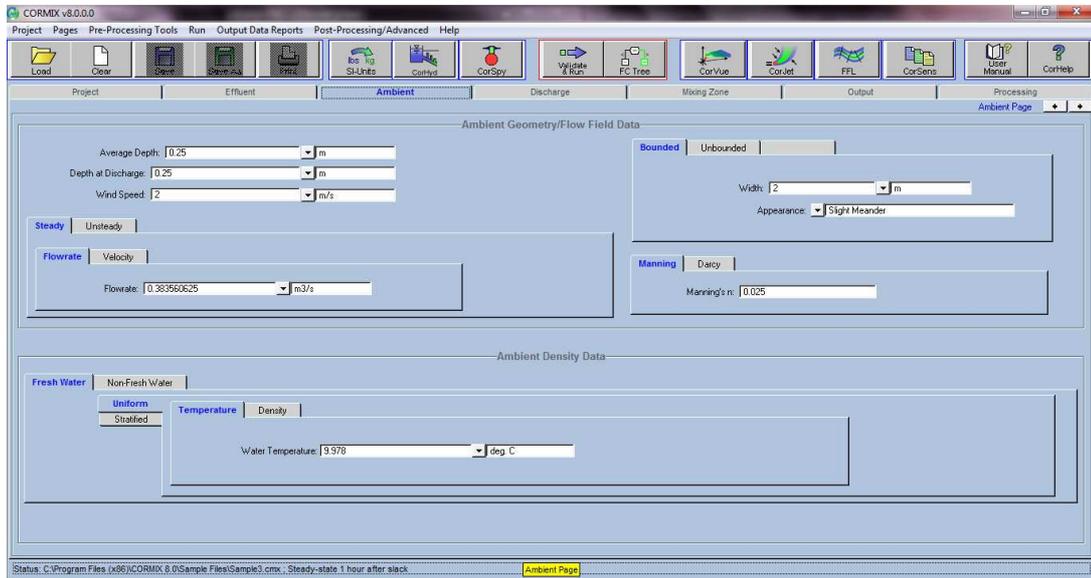
1. Pestaña *Project*: en el botón *Load* se carga el *Sample File* de acuerdo al CORMIX a utilizar. Además se puede colocar el nombre del sitio y otros datos de identificación de la simulación



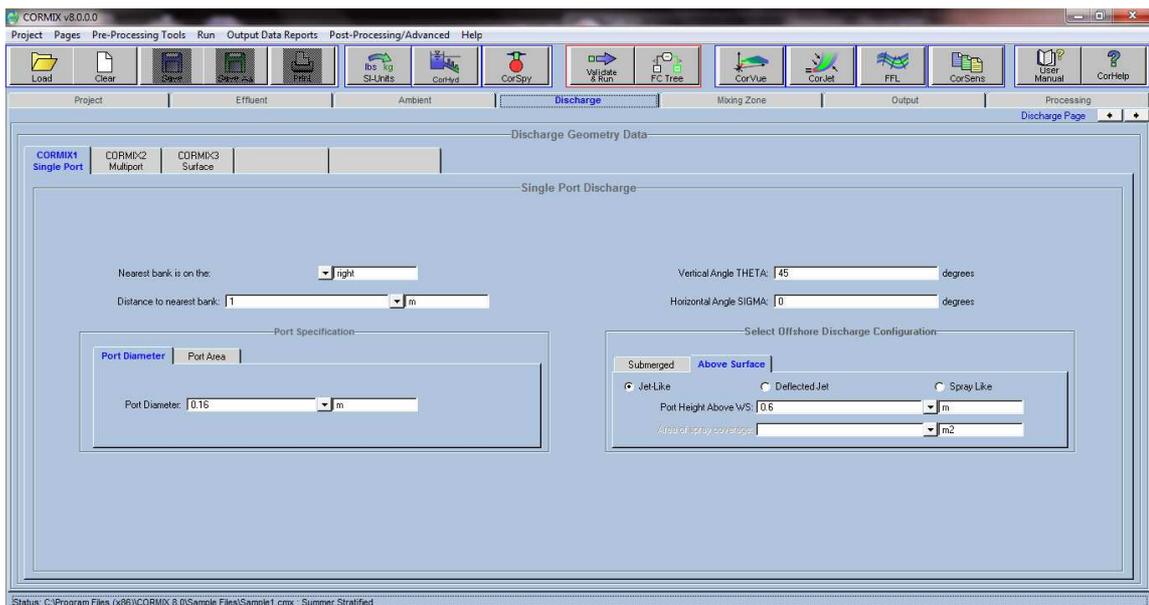
2. Pestaña *Effluent*: Seleccionar la pestaña *Conservative Pollutant* (solo se simularon contaminantes conservativos), se coloca la concentración del contaminante a simular, el flujo (m³/s) y la temperatura (°C)



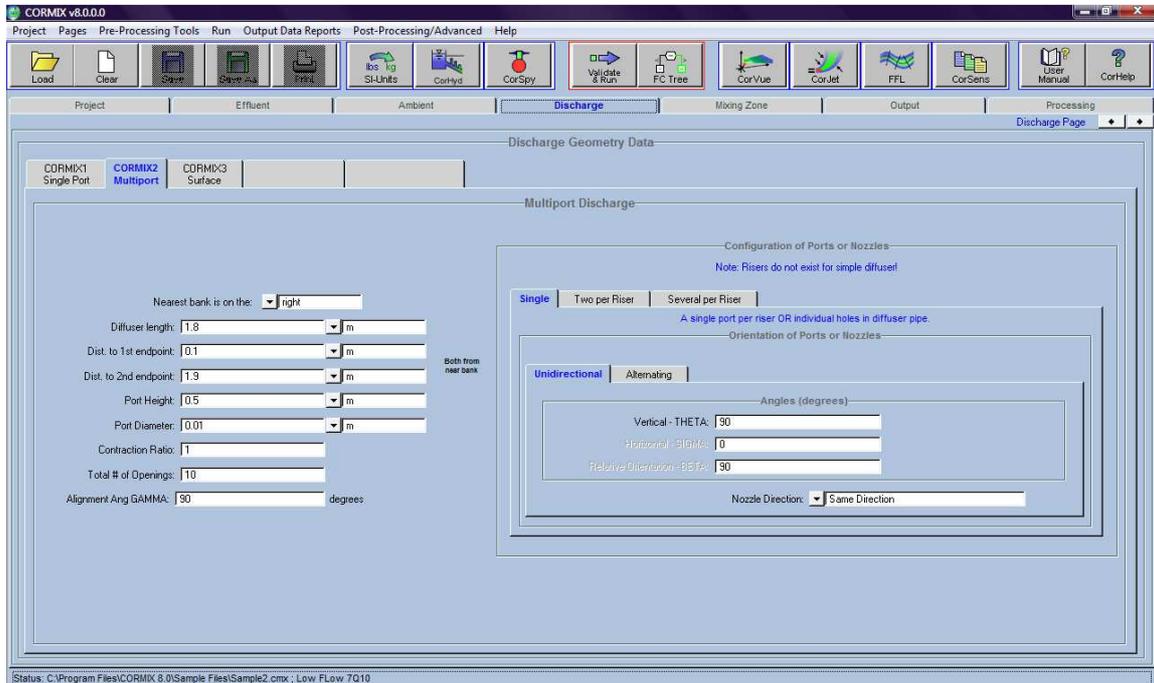
3. Pestaña *Ambient*: Se colocan las dimensiones especificadas en la esquematización del cuerpo receptor (Quebrada Chonta), Caudal (m³/s), Temperatura (°C) o Densidad (mg/Kg), Ancho (m), Apariencia (Lineal, Pocos meandros, Varios meandros) y Coeficiente de Manning



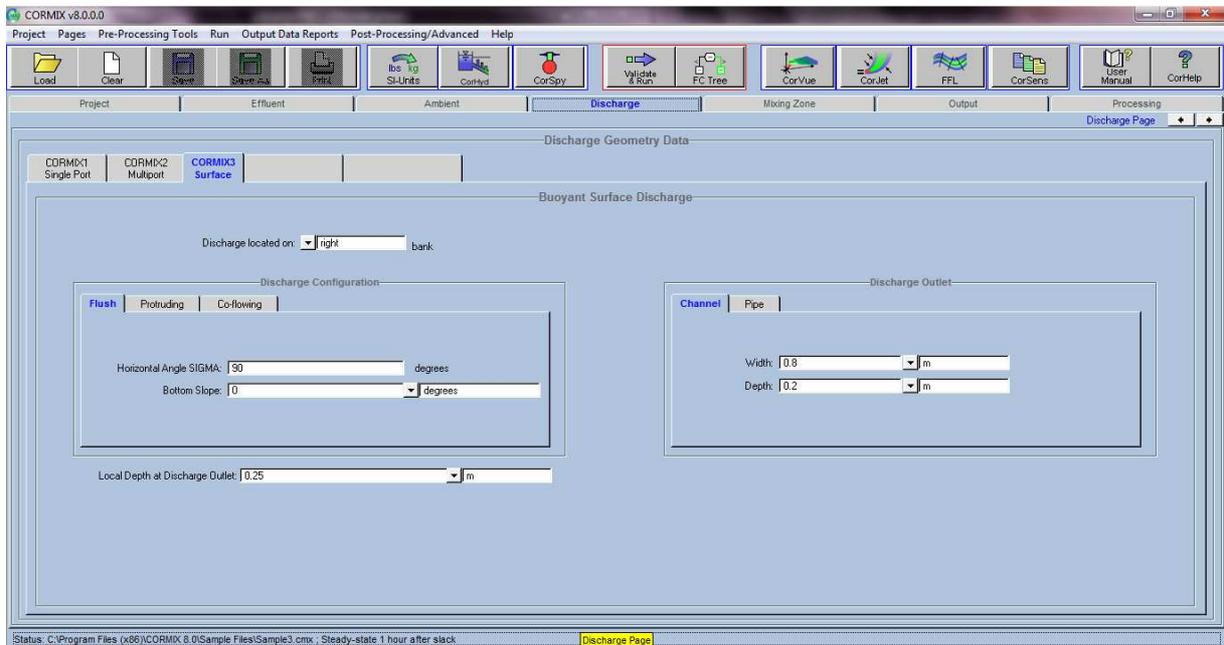
4. Pestaña *Discharge*: Según lo seleccionado en la Pestaña *Project* se abre la ventana CORMIX1, 2 o 3.
- En el CORMIX1 se indica la distancia al banco más cercano (m), diámetro de la tubería (m) y demás datos de la esquematización del vertimiento para tuberías sumergidas



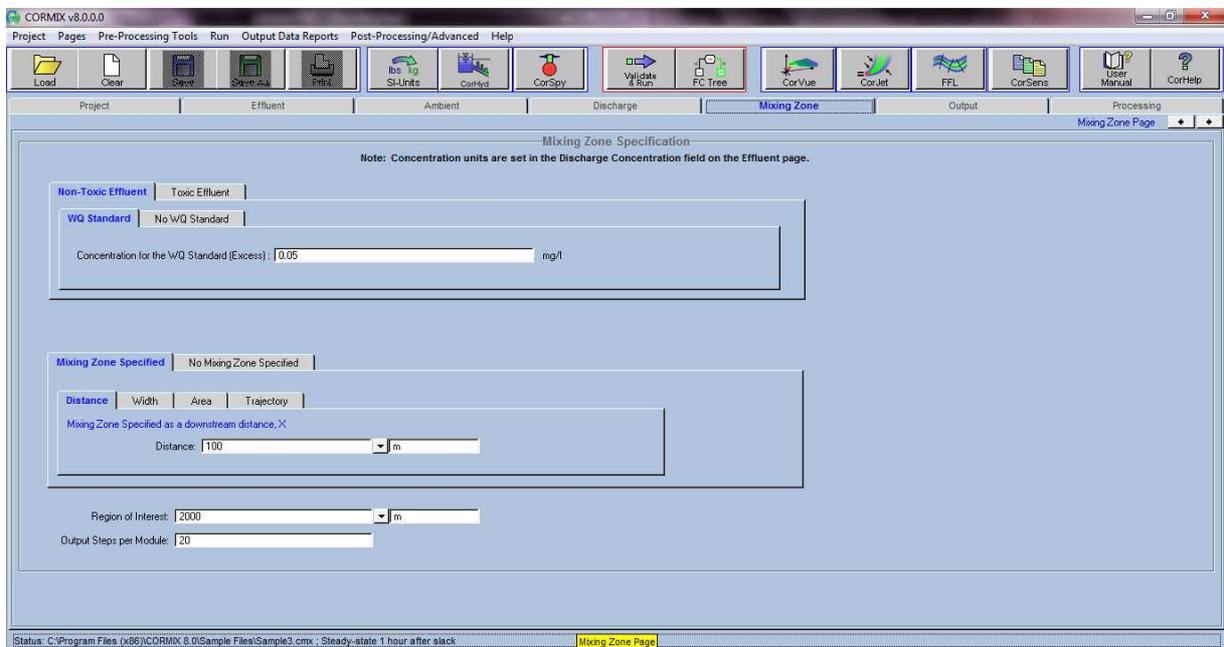
- b. En el CORMIX2 se colocan las mismas dimensiones establecidas en la esquematización del vertimiento para el caso se utilicen difusores o multipuertos.



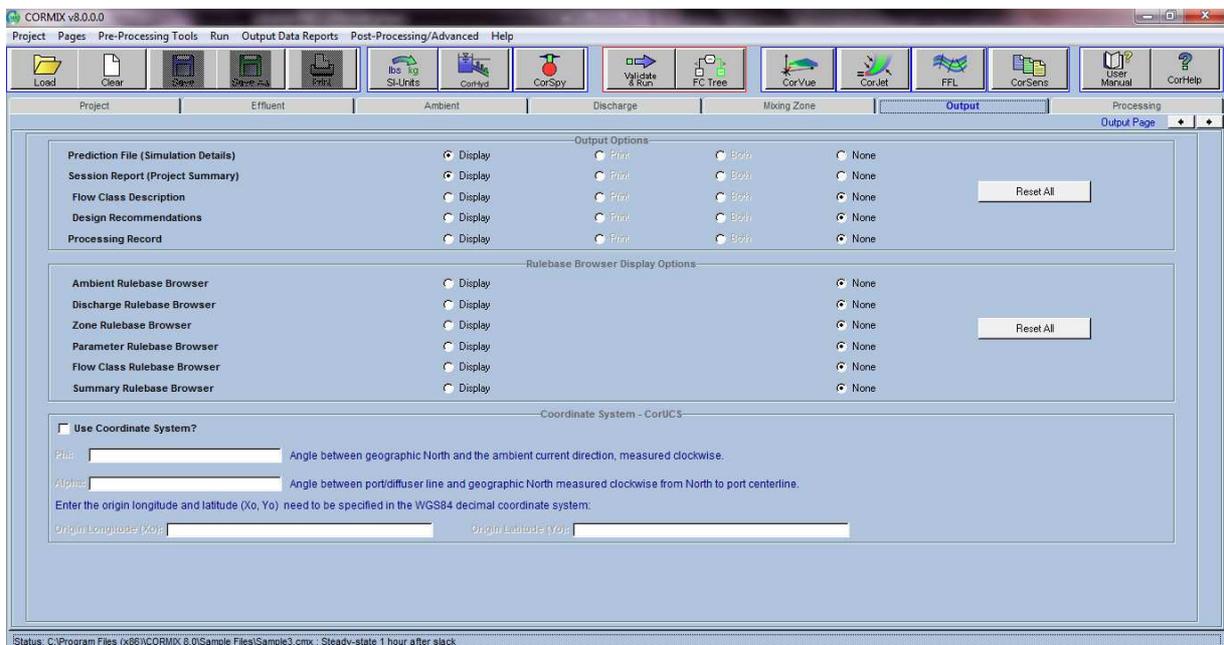
- c. Para el caso del CORMIX3 se indican las dimensiones de la esquematización del vertimiento para canales abiertos



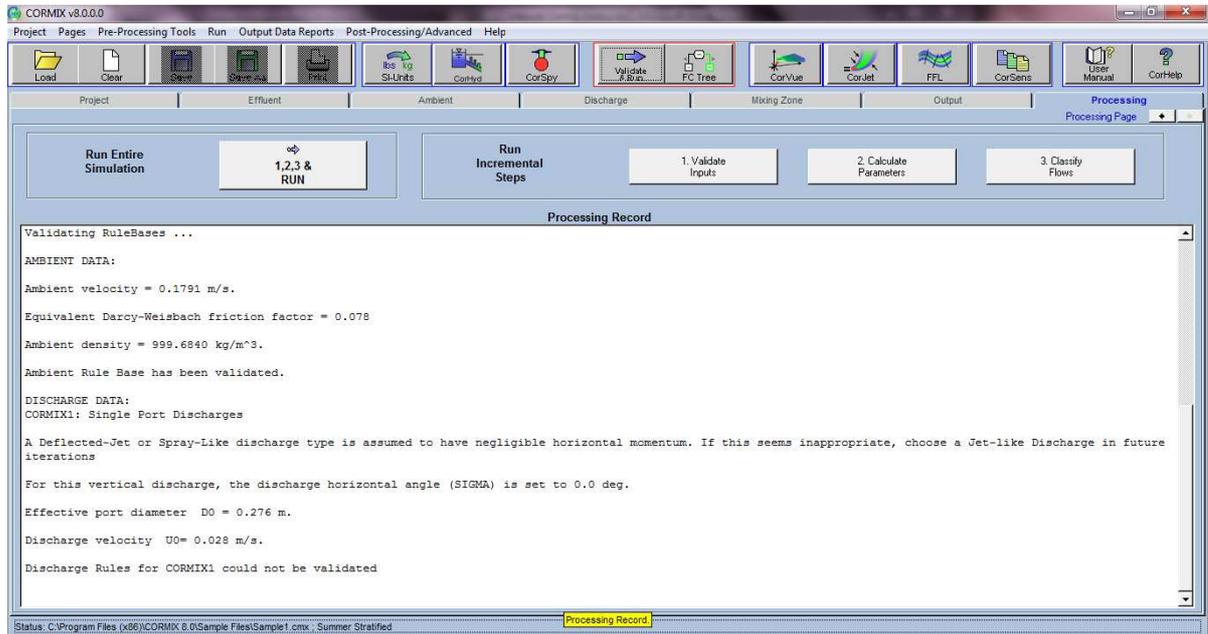
- Pestaña *Mixing Zone*: En todos los casos se selecciono Non-Toxic Effluente, en la pestala WQ Standard se colocan los valores de los ECA – Agua. En Mixing Zones Specified, se selection Distancia 100 m, Region de interés 2000 m y Tamaño de grilla 20



- Pestaña *Output*: Se selecciona Prediction File y Session Report para que aparezcan luego de terminada la simulación.



7. Pestaña *Processing*: Se da clic en el botón *1, 2, 3 & RUN* para ejecutar la simulación. Como producto se generan 02 documentos: *Session Report* y *Prediction File*.



Anexo 2: Cálculos de los ICA – CCME

Anexo 2.1: Cálculos de los ICA en las estaciones QCH-B y QCH-C (Situación Real)

Anexo 2.2: Cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo de la estación QCH-A (Situación Real)

Anexo 2.3: Cálculos de los ICA a 100 m aguas debajo de la estación QCH-A (Mejora Óptima)

Anexo 2.1: Cálculos de los ICA en las estaciones QCH-B y QCH-C (Situación Real)

Época Seca – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
QC H-B	9.1	6.3	1.2	93.6	0.38	0.01	3	15	11	32	2	30	15
QC H-C	9.1	3.1	1.2	94.4	0.40	0.01	3	15	11	32	1	31	14

Época Seca – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
QC H-B	33.3	11.1	26.3	74.7	9.64	0.36	3	9	9	27	3	24	10
QC H-C	33.3	22.2	17.5	74.8	5.73	0.21	3	9	9	27	6	21	10

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
QC H-B	20.0	7.4	7.3	87.0	5.35	0.08	6	15	15	68	5	63	28
QC H-C	33.3	10.3	10.3	79.0	7.84	0.12	6	15	15	68	7	61	26

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
QC H-B	33.3	11.5	57.9	60.9	71.44	1.37	6	9	9	52	6	46	20
QC H-C	55.6	21.2	44.2	57.2	41.15	0.79	6	9	9	52	11	41	14

Anexo 2.2: Cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo de la estación QCH-A (Situación Real)

Época Seca – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table					6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	Index Period	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME W QI	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A		9 1	3 1	1 2	94. 4	0.4 0	0.01	3	14	11	32	1	31	5

Época Seca – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME W QI	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	4 4	1 8 5	26 .7	68. 2	9.8 3	0.36	3	9	9	27	5	22	0

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	26.7	8.5	5.2	83.6	2.58	0.05	4	15	15	47	4	43	9

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Station	Index Period	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	2014	5.6	2.78	2.80	60.7	13.97	0.39	4	9	9	36	10	26	0

Anexo 2.3: Cálculos de los ICA a 100 m aguas abajo de la estación QCH-A (Mejora Óptima)

Época Seca – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	9 . 1	3 . 1	1 . 2	94.4	0.4 0	0.01	3	15	11	32	1	31	5

Época Seca – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	33 . 3	11 . 1	6 . 0	79.4	1.7 1	0.06	3	9	9	27	3	24	0

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 1A

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	67	21	00	96.0	0.02	0.00	4	15	15	47	1	46	9

Época Húmeda – ECA-Agua Categoría 4

Output Table				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station	F ₁	F ₂	F ₃	CC ME WQ I	Sum of Failed Tests	Normalized Sum of the Excursions (nse)	Number of Samples	Total Number of Variables	Actual # of Variables Tested	Number of Tests	Number of Failed tests	Number of Passed Tests	Number of Tests Below Detection Limits
100 m abajo QCH-A	22.2	56	10	86.8	0.35	0.01	4	9	9	36	2	34	0