



GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA Y LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS A UN CUERPO NATURAL DE AGUA



Mayo de 2017

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	2
II. OBJETIVO	2
III. ALCANCE.....	2
IV. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	4
V. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA LÓTICO (RÍOS Y QUEBRADAS).....	11
VI. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA LÉNTICO (LAGOS, LAGUNAS, EMBALSES).....	36
VII. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA MARINO-COSTERO	51
VIII. ANEXOS.....	80
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	93



[Handwritten signature]



I. INTRODUCCIÓN

En la zona de mezcla ocurre la dilución del efluente por procesos hidrodinámicos. La zona de mezcla es un volumen en el cuerpo natural del agua de exclusión del cumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua).

La "Guía para la Determinación de la Zona de Mezcla y la Evaluación del Impacto de un Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas a un Cuerpo Natural de Agua", describe la metodología de cálculo para determinar la extensión de la zona de mezcla y las concentraciones de los diferentes parámetros que un vertimiento aporta a un cuerpo natural de agua después de la mezcla diferenciando los principales tipos de cuerpos receptores: cuerpos de agua lóticos (Parte II), lénticos (Parte III) y marino-costeros (Parte IV).

En la Parte I se propone la metodología para determinar las características del agua residual tratada, la Parte V contiene la definición de los términos técnicos usados en este documento e indica las referencias bibliográficas, y la Parte VI presenta una serie de ejemplos de aplicación práctica de los criterios y las metodologías propuestas en el presente documento.

La finalidad de la evaluación del impacto de un vertimiento en un cuerpo natural de agua es comprobar que la carga del vertimiento no supere la carga máxima admisible del cuerpo receptor. La carga contaminante admisible, es determinada tomando como referencia los ECA-Agua, que deben ser cumplidos fuera de la zona de mezcla.

II. OBJETIVO

La "Guía para la Determinación de la Zona de Mezcla y la Evaluación del Impacto de un Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas a un Cuerpo Natural de Agua", se constituye en un documento orientador a ser considerado para la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor, tomando como referencia los ECA-Agua, e incluye la propuesta metodológica para la determinación de la zona de mezcla.

Este documento contribuye a lo establecido en el Artículo 5° del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM: *"La metodología y aspectos para la definición de la zona de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua en coordinación con el Ministerio del Ambiente y con la participación de la autoridad ambiental del sector correspondiente"*.

III. ALCANCE

La presente Guía se constituye en una herramienta importante para los administrados, consultores y la administración pública, brindando criterios y metodologías claras para la determinación de la zona de mezcla en un cuerpo receptor natural de agua; así como la evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua aguas abajo de un vertimiento.

En ese contexto, será de gran utilidad para los profesionales de la Autoridad Nacional del Agua puesto que incluye criterios a ser considerados en la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, así como de las solicitudes de autorización del vertimiento de aguas residuales tratadas.

Adicionalmente, se constituye en una herramienta de soporte para los administrados, dado que propone metodologías que permiten evaluar el impacto de vertimientos de aguas residuales tratadas en la calidad del cuerpo receptor. Sin embargo, no es excluyente el uso de otras metodologías debidamente sustentadas para la determinación de la Zona de Mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo receptor. Por consiguiente, su aplicación permitirá agilizar la evaluación por parte de la Autoridad Nacional del Agua, por lo que se recomienda la aplicación de las metodologías propuestas.

El presente documento, como guía técnica-metodológica, no tiene un periodo de aplicación específico; pudiendo ser usado como insumo para los Instrumentos de Gestión Ambiental de actividades nuevas o también en la adecuación de los Planes de Manejo Ambiental de actividades en curso, las cuales en la actualidad experimentan problemas de cumplimiento de los ECA-Agua, dado que permite determinar la carga máxima del vertimiento para el cumplimiento de los ECA-Agua, lo que es un criterio fundamental para el diseño de las medidas correctivas en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas residuales.



En tal sentido, actividades que cuentan con un Instrumento de Gestión Ambiental aprobado por la autoridad competente no requieren adecuarse a lo recomendado en la presente Guía, sin perjuicio de la obligación de adecuación de los Planes de Manejo Ambiental a los ECA-Agua establecida en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM: "Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua"¹.



¹ El Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM que aprueba las Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, numeral 8.4 establece que "Los Titulares de las actividades que cuenten con instrumentos de gestión ambiental aprobados por la autoridad competente, los cuales hayan tomado como referencia los valores límite establecidos en el Reglamento de la Ley N° 17752, Ley General de Aguas, aprobado por Decreto Supremo N° 007-83-SA, deberán actualizar sus Planes de Manejo Ambiental, en concordancia con el ECA para Agua, en un plazo no mayor de un (01) año, contados a partir de la publicación de la presente norma. Dichos Planes deberán ser aprobados por la autoridad competente y el plazo para la implementación de las medidas contenidas en el plan de manejo ambiental no deberá ser mayor que cinco (05) años a partir de su aprobación."

I. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA



A handwritten signature in blue ink.



ÍNDICE DE LA PARTE I

I.1.	Introducción.....	6
I.2.	Determinación de la Lista de Parámetros a Evaluarse	6
I.3.	Determinación de las Concentraciones Máximas	8
I.4.	Determinación del Caudal Máximo.....	9
I.5.	Mezcla de Aguas Residuales de Diferentes Fuentes.....	9
I.6.	Prohibición de la Disposición de Residuos Sólidos.....	10



[Handwritten signature]

I.1. Introducción

Para la evaluación del efecto de un vertimiento de aguas residuales tratadas en un cuerpo natural de agua continental o marina, es necesario contar con una proyección de las características del efluente, considerando el tipo de efluentes (aguas residuales tratadas domésticas, municipales o industriales), que van a ser efectivamente descargados al cuerpo receptor.

En los siguientes capítulos, se describe como se determina la lista de parámetros a evaluarse, la concentración máxima de los parámetros en las aguas residuales tratadas vertidas, el caudal del vertimiento y la carga máxima del vertimiento.

I.2. Determinación de la Lista de Parámetros a Evaluarse

La caracterización del efluente comprende por lo menos los parámetros recomendados para las diferentes actividades generadoras de aguas residuales y las categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural contenidos en la Tabla N° 2, los parámetros para los cuales el sector correspondiente haya definido un Límite Máximo Permissible (Tabla N° 1) y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el



proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua, en la categoría perteneciente².

En el caso de aguas residuales tratadas municipales se deberá considerar también las características de las aguas residuales industriales vertidas al sistema de alcantarillado.

Tabla N°1: Límites Máximos Permisibles para vertimientos de aguas residuales tratadas a cuerpos naturales de agua.

NORMA	ACTIVIDAD	PARÁMETROS REGULADOS
D.S.N° 003-2002-PRODUCE	Cemento	pH, T°C, SST
	Cerveza	pH, T°C, SST, AyG, DBO ₅ , DQO
	Papel	pH, T°C, SST, AyG, DBO ₅ , DQO
	Curtiembre	pH, T°C, SST, AyG, DBO ₅ , DQO, sulfuro, Cr ⁶⁺ , Cr, C. term., N-NH ₄
D.S.N° 037-2008-PCM	Hidrocarburos	HTP, Cloruros, CR ⁶⁺ , Cr, Hg, Cd, As, fenoles, sulfuros, DBO ₅ , DQO, cloro residual, N-NH ₄ , C. term., C. total, fósforo, Ba, pH, AyG, Pb, T°C
D.S.N° 010-2010-MINAM	Minero Metalúrgica	pH, SST, AyG, CN total, As, Cd, Cr ⁶⁺ , Cu, Fe(disuelto), Pb, Hg, Zn
D.S.N° 010-2008-PRODUCE	Pesquería ³	pH, SST, AyG, DBO ₅ ⁴
D.S. N° 003-2010-MINAM	Doméstica o Municipal	pH, T°C, AyG, C.term, DBO ₅ , DQO, SST

Legenda: (As) arsénico, (AyG) Aceites y Grasas, (Ba) Bario, (Cd) cadmio, (CN total) cianuro total, (Cr) cromo, (Cr⁶⁺) cromo hexavalente, (C.term.) coliformes termotolerantes, (C.total) coliformes totales, (Cu) cobre, (DBO₅) demanda bioquímica de oxígeno, (DQO) demanda química de oxígeno, (Fe) hierro, (Hg) mercurio, (HTP) hidrocarburos totales de petróleo, (N-NH₄) nitrógeno en nitrógeno amoniacal, (Pb) plomo, (pH) logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno, (SST) sólidos suspendidos totales, (T°C) temperatura, (Zn) zinc.

Tabla N°2: Parámetros considerados en los ECA-Agua asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

Actividad generadora	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4 Ríos, Lagunas y Lagos	Categoría 4 Ecosistemas marino-costeros
doméstica⁵ y municipal	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , DQO, P(L) Adicionalmente para aguas residuales cloradas, se medirá Trihalometanos; salvo se sustente su exclusión en el instrumento de gestión ambiental.	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , DQO	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST, P(L), N _{total} (L)	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST
	En caso de presentarse otros parámetros que no se indiquen en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM y no se mencionan arriba, se podría optar por incorporar dichos parámetros como control de la calidad del agua de un cuerpo receptor, con el fin de lograr la preservación y conservación ambiental.				
minera y metalúrgica	pH, AyG, CN _{total} , As, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn	pH, AyG, SST, CN _{WAD} , As, Cd, Cr ⁶⁺ , Cu, Pb, Hg, Zn	pH, AyG, CN _{WAD} , As, Cd, Cr, Cu	pH, AyG, SST, CN _{total} , As, Cd, Cr ⁶⁺ , Cu, Pb, Hg	pH, AyG, SST, CN _{total} , As, Cd, Cr ⁶⁺ , Cu, Pb, Hg

² Considerase que las autoridades ambientales sectoriales o la Autoridad Nacional del Agua podrán solicitar la evaluación y el control de parámetros adicionales, siempre y cuando estos corresponden a sustancias utilizadas o generadas en los procesos productivos o industriales y estén reglamentadas en los ECA-Agua de la categoría correspondiente al cuerpo receptor. Véase D.S. 023-2009-MINAM, numeral 8.3: "Para la evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes deberán considerar y/o verificar el cumplimiento de los ECA para Agua vigentes asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad."

³ Cabe precisar que el Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE "Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias" regula los efluentes de la industria de harina y aceite de pescado que son vertidos al mar solamente, no siendo aplicable a efluentes de otras actividades pesqueras, como por ejemplo la actividad acuícola, o efluentes vertidos a cuerpos de agua continentales.

⁴ El LMP para la DBO₅ de las actividades pesqueras de consumo humano indirecto fue establecido para vertimientos dentro de la Zona de Protección Ambiental Litoral (ZPAL) únicamente.

⁵ Incluye las aguas residuales domésticas generadas en actividades comerciales y productivas (ver definición de "Aguas residuales domésticas" del Glosario).

Extracción y procesamiento de hidrocarburos	pH, T, AyG, HTP, cloruros, NH, P, As, Cd, Ba, Cr, Hg, Pb, fenoles(R), Benzo(a)pireno(R)	pH, T, AyG, HTP-FA, As, Cd, Cr ⁶ , Hg, P, Cr ⁶ , S(R)	pH, T, AyG, cloruros, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, fenoles(R)	pH, T, AyG, HTP, N-NH ₄ , P, As, Ba, Cd, Cr ⁶ , Hg, Pb, fenoles(R), S(R), Benzo(a)pireno(R)	pH, T, AyG, HTP, N-NH ₄ , P, As, Ba, Cd, Cr ⁶ , Hg, Pb, fenoles(R), S(R), Benzo(a)pireno(R)
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	pH, T, AyG	pH, T, AyG, SST	pH, T, AyG	pH, T, AyG, SST	pH, T, AyG, SST
Procesamiento industrial pesquero	pH, AyG, DBO ₅ , P(L)	pH, AyG, SST, DBO ₅	pH, AyG, DBO ₅	pH, AyG, SST, DBO ₅ , P(L), N _{total} (L)	pH, AyG, SST
Adicionalmente: En las estaciones cercanas a los finales de los emisores submarinos: Coliformes totales y fecales. En los sedimentos: macrobentos, materia orgánica y granulometría.					
Procesamiento de productos agrícolas y pecuarios	pH, AyG, DBO ₅ , P(L)	pH, AyG, SST, DBO ₅	pH, AyG, DBO ₅	pH, AyG, SST, DBO ₅ , P(L), N _{total} (L)	pH, AyG, SST
producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	pH, T, AyG, DBO ₅ , DQO, P (L)	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST	pH, T, AyG, DBO ₅ , DQO	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST, P(L), N _{total} (L)	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST
Ganadería intensiva e instalaciones de sacrificio	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , DQO, P(L)	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , DQO	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST, P (L), N _{total} (L),	pH, T, AyG, C.term., DBO ₅ , SST
Producción de celulosa y papel	pH, AyG, DBO ₅ , DQO, P(L)	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST	pH, T, AyG, DBO ₅ , DQO	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST, P(L), N _{total} (L)	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST
Curtiembre	pH, AyG, DBO ₅ , DQO, P (L), N-NH, Cr	pH, T, SST, AyG, DBO ₅ , S, Cr ⁶	pH, T, AyG, DBO ₅ , DQO, Cr ⁶	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST, P(L), N-NH, S, Cr ⁶	pH, T, AyG, DBO ₅ , SST, N-NH, S, Cr ⁶
Cementera	pH, T	pH, T, SST	pH, T	pH, T, SST	pH, T, SST
otras actividades no indicadas en lo anterior	Los parámetros considerados en los ECA-Agua en la categoría perteneciente e indicados para la actividad industrial correspondiente en las "Guías sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad" (www.ifc.org/ehsguidelines) publicadas por Corporación Financiera Internacional (IFC) del Grupo del Banco Mundial; u otros documentos referenciales publicados por instituciones de Derecho Internacional Público.				

Leyenda: (As) arsénico, (AyG) aceites y grasas, (Ba) bario, (DBO₅) demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, (DQO) demanda química de oxígeno, (Ca) calcio, (Cd) cadmio, (CN_{libre}) cianuro libre, (CN_{WAD}) cianuro WAD, (Cond) conductividad eléctrica, (Cr) cromo total, (Cr⁶) cromo hexavalente, (C.term.) coliformes termotolerantes, (Cu) cobre, (Hg) mercurio, (H₂S) sulfuro de hidrógeno que según la APHA se calcula con $H_2S=S/(10^{(pH-7.3)+1})$, (HTP) hidrocarburos totales de petróleo, (HTP-FA) hidrocarburos totales de petróleo – fracción aromática, (L) parámetro requerido solamente en caso que el cuerpo receptor sea un cuerpo de agua lentic o tributa a un cuerpo de agua lentic, (N-NH₄) nitrógeno en nitrógeno amoniacal, (N-NO₃) nitrógeno en nitratos, (N_{total}) nitrógeno total, (P) fósforo total, (Pb) plomo, (P-PO₄) fosfatos como fósforo, (R) parámetro requerido solamente en caso de refinerías FCC, (S) sulfuros, (SDT) sólidos disueltos totales, (SST) sólidos suspendidos totales, (T) temperatura en °Celsius, (Zn) zinc.

* Los parámetros que caracterizan al efluente, han sido actualizados y establecidos en función del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante R.J. N°010-2016-ANA.

I.3. Determinación de las Concentraciones Máximas

Para poder determinar la carga máxima del vertimiento, es necesario estimar las concentraciones de los parámetros a evaluarse en las condiciones más críticas.

En el caso de la evaluación de vertimientos proyectados de actividades futuras, la pregunta que es de mayor interés para los administrados es, si los LMP son suficientes para el cumplimiento de los ECA-Agua, dado que los LMP constituyen el criterio de diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por

lo tanto, en este caso se aplica las concentraciones indicadas en los LMP para determinar la carga del vertimiento. Sin embargo, para parámetros no considerados en los LMP pero de relevancia para el cumplimiento de los ECA-Agua, se determina las concentraciones mediante toma de muestra y análisis de aguas residuales tratadas generadas en actividades similares, considerando la eficiencia de reducción de los sistemas de tratamiento proyectados o, en su defecto, se usa valores referenciales indicados en la literatura especializada. Cuando no es posible estimar la concentración máxima de un vertimiento proyectado, como por ejemplo para los metales contenidos en las aguas residuales mineros y parámetros no considerados en los LMP, se podrá aplicar el balance de masas descrito en los capítulos siguientes para determinar la concentración máxima en el efluente que permitirá cumplir con los ECA-Agua.

Cuando se trata de un vertimiento en curso (como es el caso para los Planes de Adecuación y Manejo Ambiental y otros instrumentos de adecuación a la normatividad ambiental), se toma una o más muestras de aguas residuales tratadas en el horario de mayor carga contaminante de acuerdo al Protocolo establecido por el sector competente y análisis en laboratorio acreditado por INDECOPI y/o el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). La probable concentración máxima se determina, considerando la eficiencia de reducción de los sistemas de tratamiento proyectados.

I.4. Determinación del Caudal Máximo

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, se considera la condición más crítica, por lo que se estima el caudal máximo horario de descarga a partir de los procesos productivos o actividades que intervienen en la generación de las aguas residuales, así como el régimen de descarga cuando éstas sean previamente almacenadas, o el caudal máximo simultáneo de bombeo cuando la descarga considere la impulsión de las mismas.

En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa (cuando el vertimiento está influenciado por aguas de precipitación como en las actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto o cuando se trate de una actividad productiva estacional) se estima el caudal máximo del vertimiento en cada mes, determinando la variabilidad del caudal con modelos de escorrentía superficial o con un balance de agua de los diferentes ciclos de producción, según corresponda.

Para la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lenticó, también se deberá determinar o estimar el caudal medio anual del vertimiento.

I.5. Mezcla de Aguas Residuales de Diferentes Fuentes

Cuando se vierta más de un tipo de efluente a través del dispositivo de descarga, se caracterizará la carga total del efluente mezclado para la posterior evaluación del impacto total del vertimiento en el cuerpo natural de agua. A tal propósito, se aplica el balance de masas tal como se representa en el siguiente gráfico.

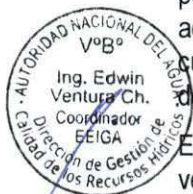
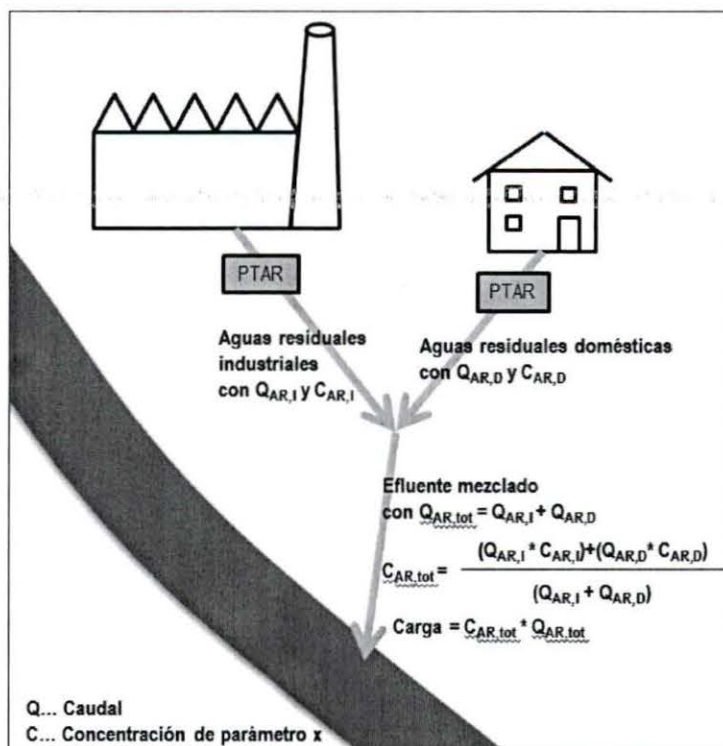


Gráfico N°1: Determinación de la carga de un efluente generado de la mezcla de dos tipos de aguas residuales tratadas.



Asimismo, en el caso que los diferentes procesos productivos de la actividad generan un efluente de alta variabilidad de la carga contaminante, se debería determinar el caudal y las concentraciones de las aguas residuales generadas en cada uno de los procesos productivos, luego calcular la carga contaminante después de la mezcla aplicando la ecuación representada en el gráfico anterior, y finalmente identificar la carga contaminante máxima.

La concentración y el caudal a aplicarse en la evaluación del impacto del vertimiento, corresponden a la carga contaminante máxima identificada.

1.6. Prohibición de la Disposición de Residuos Sólidos

Se deberá prever los sistemas de tratamiento que permitan la eliminación de los residuos sólidos contenidos en las aguas residuales antes de la descarga al cuerpo natural de agua⁶. El efluente deberá estar libre de materia flotante persistente, que pueda impactar los ecosistemas acuáticos, depositarse en las orillas del cuerpo receptor o causar daños a la calidad estética del agua afectando las actividades recreativas. Igualmente, el efluente no podrá sobrepasar los LMP definidos por el sector en relación al material sedimentable que podría depositarse sobre el fondo del cuerpo de agua y afectar los ecosistemas bentónicos o, en su defecto, reducirlo antes de la descarga de las aguas residuales tratadas.

⁶ Véase Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos, artículo 120° - Infracción en materia de agua: "Constituyen infracciones las siguientes:

...

10. arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua naturales o artificiales;"



II. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA LÓTICO (RÍOS Y QUEBRADAS)



ÍNDICE DE LA PARTE II

II.1.	Comportamiento de las concentraciones de contaminantes en un cuerpo de agua lotico.....	13
II.2.	Determinación de la zona de mezcla	16
II.2.1	Modelo matemático para la determinación de la zona de mezcla	17
II.2.2	Modelos numéricos para la determinación de la zona de mezcla	18
II.2.3	Restricciones de la zona de mezcla	19
II.3.	Determinación del caudal disponible para la dilución.....	21
II.3.1	Reducción del caudal crítico en el caso de una zona de mezcla restringida.....	22
II.4.	Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua	23
II.5.	Balance de masas.....	24
II.5.1	Balance de masas de nitratos	27
II.6.	Evaluación de la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla... ..	28
II.7.	Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua lotico	31
II.8.	Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua	34




I.7. Comportamiento de las Concentraciones de Contaminantes en un Cuerpo de Agua Lótico

El comportamiento de la concentración de un residuo en solución líquida que llega a un cuerpo natural de agua lotico, es decir, un cuerpo de agua fluvial como un río o una quebrada, está caracterizado por dos procesos fundamentalmente diferentes:

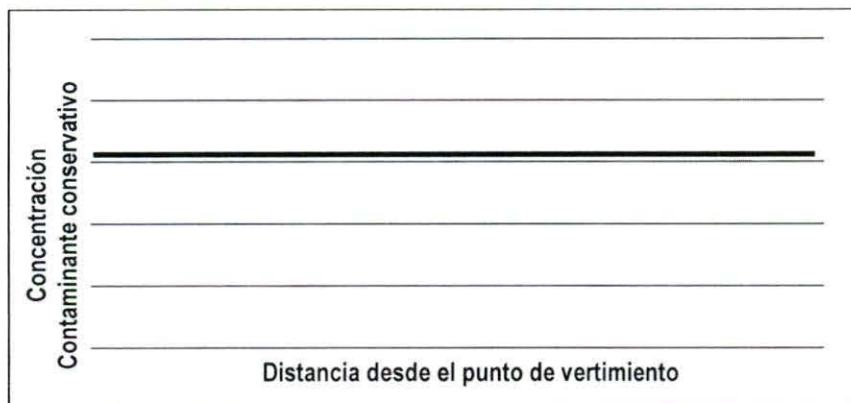
1. Inmediatamente luego del vertimiento se inicia la mezcla con el agua natural. El proceso de mezcla es un proceso físico de dispersión y su velocidad depende de las condiciones hidrodinámicas del cuerpo receptor.
2. El segundo proceso que caracteriza el comportamiento de las concentraciones en un cuerpo natural de agua es el conjunto de procesos químicos, físicos y microbiológicos que modifican la carga contaminante transportada por el río. Estos procesos, comúnmente denominados con el término de autodepuración, abarcan la sedimentación, la hidrólisis, la oxidación, la reducción química, la muerte de patógenos, la nitrificación, la desnitrificación, la adsorción, la asimilación en materia biológica y otros.

En los siguientes gráficos se representa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes tipos de parámetros debido a los procesos de autodepuración luego de la mezcla con el agua natural.

- Contaminantes Conservativos:

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

Gráfico N°2: Comportamiento de la concentración de un contaminante conservativo en un cuerpo de agua lotico.



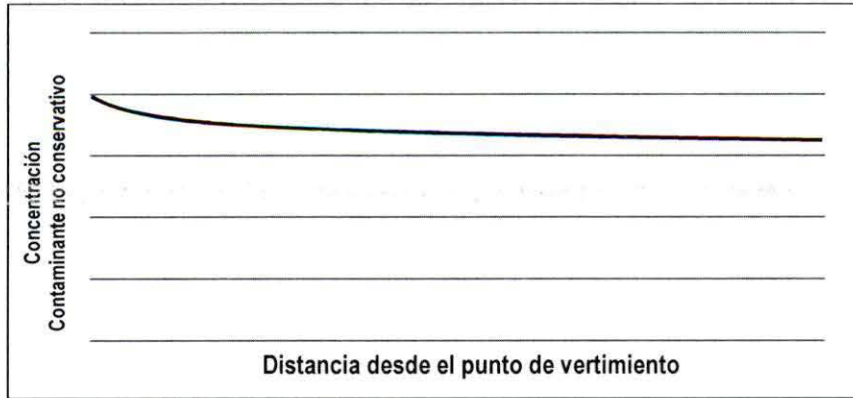
- Contaminantes No Conservativos:

Los parámetros no conservativos son aquellos que no tienen un comportamiento conservativo. Forman parte de este grupo la mayoría de los compuestos orgánicos, los patógenos y los metales cuando después del vertimiento varía la disponibilidad de oxígeno disuelto o el pH.

Señal de verificación con firma y sello de Juan Carlos Vargas, Director de Gestión de Recursos Hídricos.

Señal de verificación con firma y sello de Ing. Edwyn Ventura Ch., Coordinador EFIGA, Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.

Gráfico N°3: Comportamiento de la concentración de un contaminante no conservativo en un cuerpo de agua lotico.



• Parámetros Influenciados:

Los parámetros influenciados, son aquellos que están afectados por los procesos biológicos en los ríos (ciclos de C, O₂, N y P), y se encuentran formando parte de este grupo:

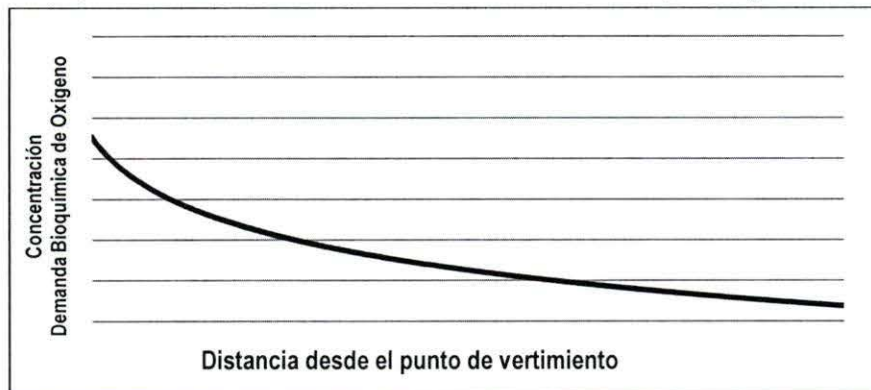
- ✓ Sólidos suspendidos volátiles
- ✓ Carbono orgánico disuelto
- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno – DBO
- ✓ Oxígeno disuelto – OD
- ✓ Nitrógeno en sus diferentes compuestos
- ✓ Fosforo en sus diferentes compuestos
- ✓ pH
- ✓ Alcalinidad
- ✓ Fitoplancton



Ed

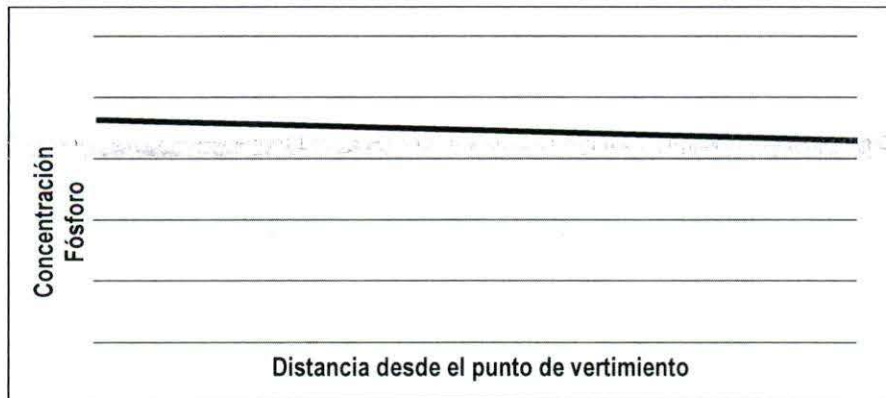
La DBO se reduce en forma exponencial debido a los procesos de oxidación microbológica.

Gráfico N°4: Comportamiento de la concentración de la DBO en un cuerpo de agua lotico.



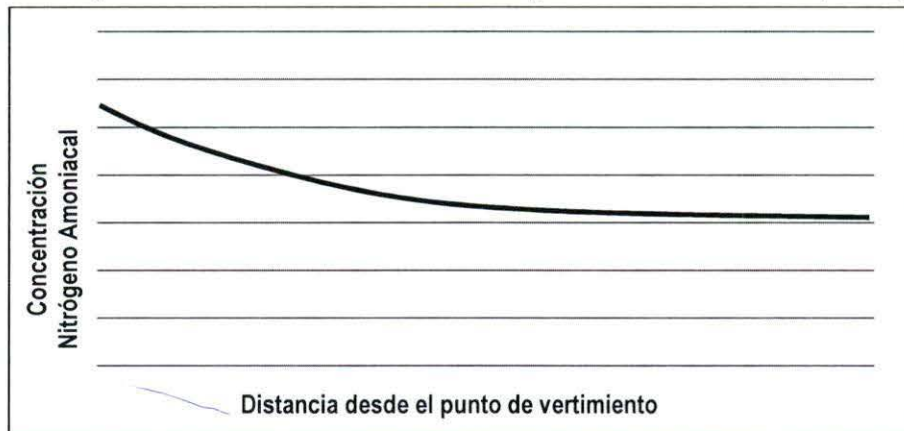
El fósforo se reduce en forma aproximadamente lineal debido a la sedimentación y a la asimilación en las algas.

Gráfico N°5: Comportamiento de la concentración de fosforo en un cuerpo de agua lotico.



El nitrógeno amoniacal se reduce por la nitrificación, que lo transforma en nitratos.

Gráfico N°6: Comportamiento de la concentración de nitrógeno amoniacal en un cuerpo de agua lotico.



Los nitratos se incrementan debido a la nitrificación del nitrógeno amoniacal para luego reducirse lentamente por la desnitrificación en zonas anaeróbicas del cuerpo de agua y la asimilación en las algas.

Gráfico N°7: Comportamiento de la concentración de nitratos en un cuerpo de agua lotico.

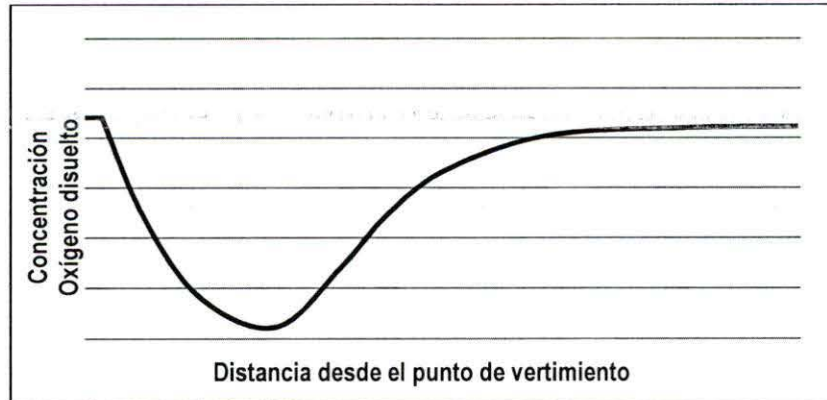


Señal de verificación con firma y sello de la Autoridad Nacional del Agua. El sello contiene el texto: 'AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA VºBº', 'Bigo. Juan Carlos Castro Vargas Director', y 'Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos'.

Señal de verificación con firma y sello de la Autoridad Nacional del Agua. El sello contiene el texto: 'AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA VºBº', 'Ing. Edwin Ventura Ch. Coordinador EEIGA', y 'Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos'.

El oxígeno disuelto se reduce debido al consumo de oxígeno en la oxidación microbológica de la materia orgánica y en la nitrificación del nitrógeno amoniacal para luego recuperarse debido a la reaeración en la superficie del cuerpo de agua y la producción de oxígeno de las algas.

Gráfico N°8: Comportamiento de la concentración de Oxígeno Disuelto en un cuerpo de agua lotico.



En el presente capítulo se ha demostrado que la mayoría de los parámetros, tienen la máxima concentración inmediatamente aguas abajo de la zona de mezcla y luego se reducen o permanecen constantes. El cumplimiento de los ECA-Agua de estos parámetros se evalúa con el balance de masas⁷ solamente, ya que permite calcular las concentraciones después de la mezcla con el agua natural.

Sin embargo, hay algunos parámetros que tienen la mayor (menor para O₂), concentración aguas abajo y distante de la zona de mezcla, que son los nitratos y el oxígeno disuelto. La evaluación del cumplimiento del ECA-Agua de estos parámetros debe ser realizada con metodologías más complejas, ya que su concentración depende de los procesos de autodepuración del río.

En el capítulo II.5.1 se describe el balance de masas modificado, que permite determinar la concentración máxima de los nitratos fuera de la zona de mezcla. En el capítulo II.6 se presenta la metodología para la evaluación del cumplimiento del ECA-Agua de oxígeno disuelto.

1.8. Determinación de la Zona de Mezcla

La zona de mezcla es aquel volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química. El propósito de la zona de mezcla es asignar una región limitada para la mezcla completa del efluente con el agua del cuerpo receptor y utilizar la capacidad de dilución del cuerpo receptor. Como tal, la zona de mezcla es un volumen de agua limitado donde se permite que las concentraciones excedan los ECA-Agua, lo que implica que no se debería usar el agua en la zona de mezcla.

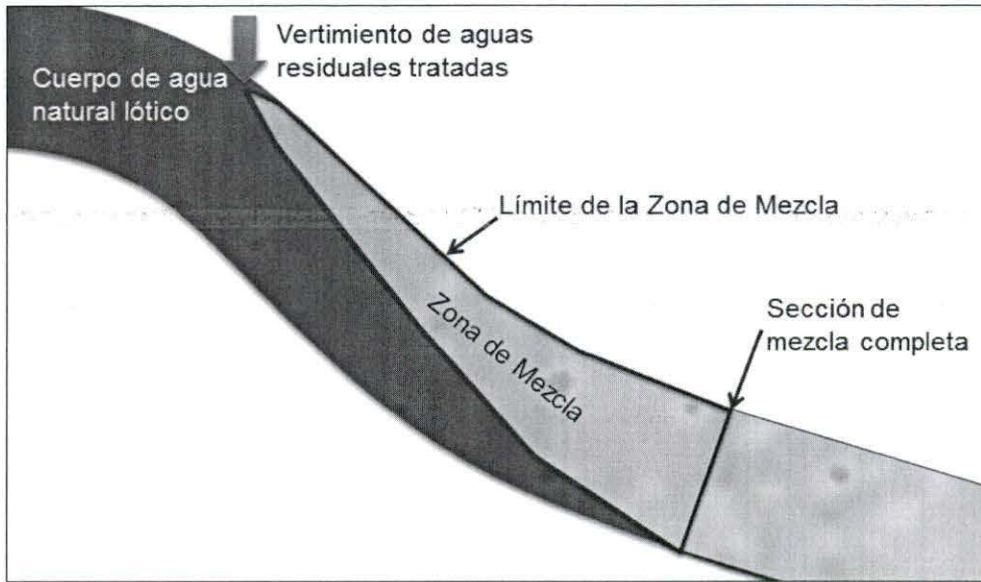


Ed



⁷La metodología del balance de masa se describe en el capítulo II.5.

Gráfico N°9: Zona de Mezcla en cuerpos naturales de agua lóticos.



La extensión de la zona de mezcla dependerá de: la ubicación del punto de vertimiento (orilla o centro, superficie o fondo), las características hidráulicas del cuerpo receptor, la turbulencia del cuerpo de agua, la velocidad de flujo, la profundidad y la morfología del cauce.

1.8.1 Modelo Matemático para la Determinación de la Zona de Mezcla

Para el cálculo de la extensión de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento se propone el Método Simplificado desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA), que puede ser adoptado para descargas superficiales en la orilla o en el centro del cuerpo de agua lótico.

Para un vertimiento en la orilla del río/quebrada la longitud de la zona de mezcla se calcula con:

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

Para un vertimiento en el centro del río/quebrada la longitud de la zona de mezcla se calcula con:

$$L_{ZdM} = \frac{(W_{min})^2 u}{8 \pi D_y}$$

donde,

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

W_{min} ... es el ancho medio del cuerpo de agua en un tramo de 500 m aguas abajo del vertimiento, en metros.

u ... es la velocidad de flujo media del río en la ubicación del vertimiento, en metros por segundo.

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

$$D_y = c \cdot d \cdot u^*$$

c ... factor de irregularidad del cauce:

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

$c = 0,3$ para ríos canalizados

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

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

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

d ... es la profundidad media del río aguas abajo del vertimiento, en metros.

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

$$u^* = \sqrt{g \cdot d \cdot s}$$

g ... es la aceleración por gravedad = 9,80665 m/s²

s ... es la pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento (m/m) determinada a base del mapa topográfico, medición con GPS o nivel topográfico de la altitud del fondo del cauce en dos puntos, el primero en la ubicación del vertimiento y el segundo aguas abajo y en una distancia de aprox. 500 m.

Las características hidráulicas y morfológicas a aplicarse deben corresponder al periodo de evaluación:

- En el caso de un vertimiento proyectado con un caudal constante a lo largo del año, será suficiente determinar las características del cuerpo receptor en el periodo más crítico, es decir en el periodo de estiaje.
- En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa (cuando el vertimiento está influenciado por aguas de precipitaciones como en actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto o cuando se trate de una actividad productiva estacional) se deberá determinar las características del cuerpo receptor en la época de estiaje y de avenida, para poder calcular la longitud de la zona de mezcla variable en el año. En este caso, la longitud de la zona de mezcla a aplicarse para establecer la ubicación de los puntos de control será el valor máximo de las dos evaluaciones realizadas.

1.8.2 Modelos Numéricos para la Determinación de la Zona de Mezcla

Alternativamente al modelo matemático presentado en el capítulo precedente, se podrá determinar la extensión de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento mediante modelamiento hidrodinámico con los modelos de simulación auspiciados por el Centro de Modelamiento para la Evaluación de la Exposición (Center for Exposure Assessment Modeling – CEAM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), el cual distribuye modelos de simulación para determinar el movimiento y la concentración de parámetros en los cuerpos receptores. Entre estos modelos de simulación se cuenta con el software Environmental Fluid Dynamics Code – EFDC (U.S. Environmental Protection Agency, National Oceanic and Atmospheric Administration's Sea Grant Program y Tetra Tech Inc., 1996), que permite el modelamiento de los procesos de dilución en cuerpos de agua corriente en 1, 2 o 3 dimensiones, el software de modelamiento CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System), el cual se basa en los principios, criterios y metodología establecida en el estudio "Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments" de Norman H. Brooks y el estudio "Dilution Models for Effluent Discharges" de D.J. Baumgartner, W.E. Frick y P.J. W. Roberts, y el modelo VISUAL PLUMES, USEPA (2003). En la aplicación de estos modelos numéricos, se deberá simular el impacto del vertimiento en el cuerpo receptor en las condiciones más críticas (condiciones de flujo de la época de estiaje, caudal mínimo, concentraciones máximas de los contaminantes críticos en el cuerpo receptor y caudal y concentraciones máximas del vertimiento). En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa (cuando el vertimiento está influenciado por aguas de precipitaciones como en actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto o cuando se trate de una actividad productiva estacional), se deberá simular el impacto del vertimiento en las diferentes estaciones hidrológicas del año, lo que permitirá calcular la longitud de la zona de mezcla variable en el año. En este caso, la longitud de la zona de mezcla a aplicarse para establecer la ubicación de los puntos de control será el valor máximo de las evaluaciones realizadas.

Los resultados del modelo deberán comprobar que la dilución mínima de las aguas residuales tratadas con el agua natural garantiza el cumplimiento del ECA-Agua de todos los parámetros críticos del vertimiento en el límite de la zona de mezcla. El límite de la zona de mezcla es aquel punto donde se obtiene la mezcla completa del efluente con las aguas naturales o corresponde al límite regulatorio de la zona de mezcla establecido según lo indicado en el siguiente capítulo II.2.3, debiéndose aplicar el criterio que resulta en la menor extensión de la zona de mezcla.

Para el caso que el vertimiento contenga materia orgánica biológicamente oxidable, adicionalmente al modelo hidrodinámico, se deberá comprobar que el vertimiento no causa un incumplimiento del ECA-Agua de oxígeno disuelto, aplicando la metodología indicada en el capítulo II.7.

1.8.3 Restricciones de la Zona de Mezcla

Teóricamente se podría definir la zona de mezcla en un río con aquel tramo del río desde el vertimiento hasta el punto aguas abajo, donde la concentración del contaminante en todos los puntos de la sección del río sea igual, es decir, se permite la mezcla completa. Sin embargo, considerando que la calidad del agua en la zona de mezcla no cumple con los ECA-Agua y el uso del recurso en esta zona para fines poblacionales, recreativos, agrícolas, ganaderas e industriales, constituye un riesgo para la salud de las personas y la calidad de los productos agrícolas o industriales, es necesario restringir, es decir, limitar la extensión máxima de la zona de mezcla, en los siguientes casos específicos:

- Si existen usos de los recursos hídricos aguas abajo del vertimiento en una distancia menor a dos (02) veces la longitud de la zona de mezcla, determinada con una de las metodologías indicadas en el capítulo II.2.1 y II.2.2, la zona de mezcla se delimita a una distancia de seguridad aguas arriba del uso que es igual a la longitud de la zona de mezcla:

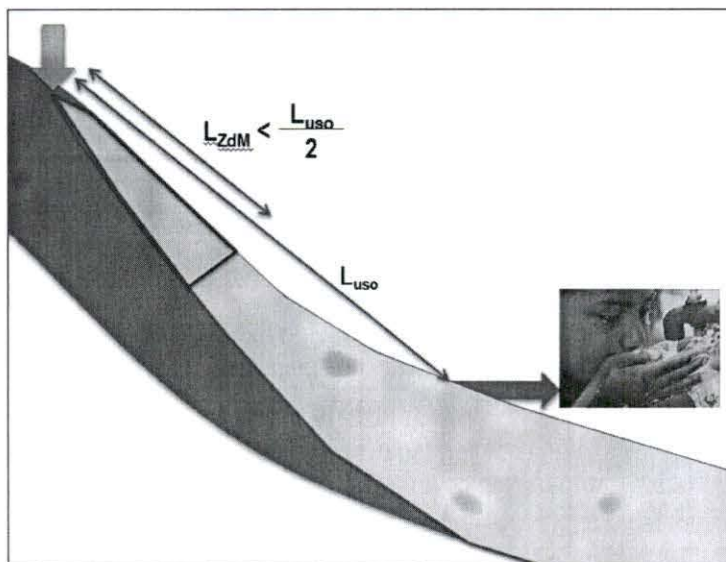
$$L_{ZdM} \leq \frac{L_{uso}}{2}$$

donde,

L_{uso} ... es la distancia del vertimiento al punto de uso más cercano aguas abajo del vertimiento, tales como:

- Toma de agua para uso poblacional, agrícola, ganadero, industrial, acuícola y otros.
- Zona de uso primario (preparación de alimentos, consumo directo, aseo personal, uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales).
- Zona de uso recreativo de contacto primario: actividades como natación, canotaje, o similares.
- Zona de extracción de especies hidrobiológicas para el consumo humano directo, como extracción de camarones, pesca comercial o deportiva, o similares.

Gráfico N°10: Restricción de la longitud de la Zona de Mezcla en el caso de toma de agua o uso aguas abajo y en proximidad del vertimiento de aguas residuales tratadas.



Esta restricción considera, que la Autoridad Nacional del Agua en cumplimiento de sus funciones, no podrá autorizar zonas de mezclas que puedan afectar a los usos de los recursos hídricos existentes. Por lo tanto, cuando existan usos de agua aguas abajo de un vertimiento, se deberá reducir la longitud

de la zona de mezcla y establecer el punto de control del cumplimiento de los ECA-Agua aguas arriba de la toma y a una cierta distancia de seguridad (50 % de la distancia entre el vertimiento y la toma de agua).

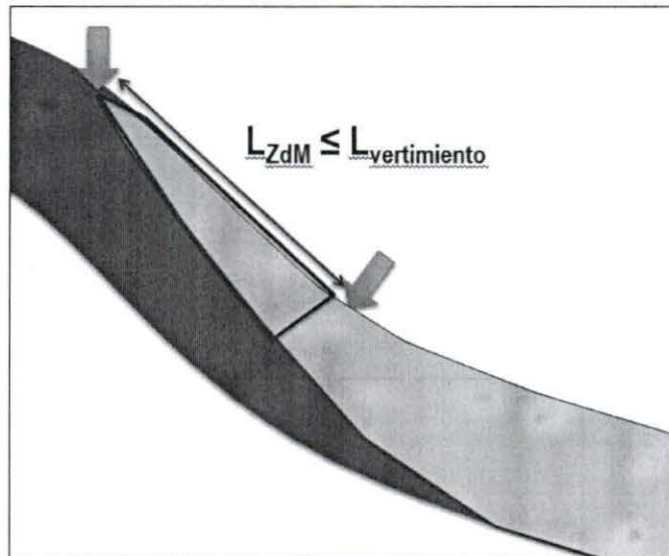
- Si existen otros vertimientos de aguas residuales al cuerpo receptor aguas abajo del vertimiento en una distancia menor a la longitud de la zona de mezcla determinada con una de las metodologías indicadas en el capítulo II.2.1 y II.2.2, la zona de mezcla se delimita hasta antes del otro vertimiento.

$$L_{ZdM} < L_{\text{vertimiento}}$$

donde,

$L_{\text{vertimiento}}$ es la distancia del vertimiento al otro vertimiento de aguas residuales aguas abajo.

Gráfico N°11: Restricción de la longitud de la Zona de Mezcla en el caso de otro vertimiento de aguas residuales tratadas aguas abajo y en proximidad del vertimiento objeto de la evaluación.



Esta restricción considera que la longitud de la zona de mezcla define también el punto de control de los ECA-Agua. En el caso de presentarse otro vertimiento de aguas residuales en la zona de mezcla, no será posible establecer la causalidad entre un posible incumplimiento de los ECA-Agua y el vertimiento de aguas residuales tratadas objeto del control, dado que el efecto del segundo vertimiento en términos de carga adicional o de dilución no permitirá la cuantificación. Sin embargo, esta restricción se debería aplicar solamente si el segundo vertimiento contiene las mismas sustancias contaminantes que el vertimiento objeto de la evaluación.

- La longitud de la zona de mezcla no debería ser mayor de 500 metros:

$$L_{ZdM} \leq 500 \text{ m}$$

donde,

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

Esta restricción considera que en ríos caudalosos y de flujo lento, la aplicación del principio de mezcla completa crea zonas de mezcla muy amplias y su longitud puede llegar a decenas y hasta centenares de kilómetros. Teniendo en cuenta que la zona de mezcla es una zona de exclusión del cumplimiento de los ECA-Agua, se crearía áreas acuáticas muy extensas donde las concentraciones de los contaminantes pueden constituir un riesgo para el medio ambiente acuático. Asimismo, se debería considerar, que en el caso de zonas de mezcla muy extensas, también la distancia entre el vertimiento y el punto de control de cumplimiento del ECA-Agua es muy grande, lo que dificulta establecer la causalidad entre un posible incumplimiento de los ECA-Agua y el vertimiento de aguas residuales tratadas objeto del control, dado que los múltiples efectos de otras fuentes de contaminación, como la contaminación difusa, no permitirá la cuantificación del impacto del vertimiento.



Ed



En este sentido, esta restricción protege los intereses de los titulares de vertimientos, considerando que en un tramo de medio kilómetro es todavía posible identificar otras fuentes de contaminación. Para distancias mayores, esta evaluación en campo será muy difícil y eventuales incumplimientos de los ECA-Agua determinados en el punto de control aguas abajo serán imputados al vertimiento, sin tener conocimiento de otras fuentes de contaminación ajenos a la responsabilidad del administrado. Esta restricción no llevará necesariamente a una reducción de las cargas contaminantes que podrán ser dispuestas en el cuerpo de agua, sino a un diseño de los dispositivos de descarga que permitan una mezcla rápida y reduzcan el impacto ambiental. En el caso de vertimientos de caudales altos⁸, será necesario prever la construcción de emisores subacuáticos de salida única o de orificios múltiples, los que pueden ser diseñados con el apoyo de un software de simulación.

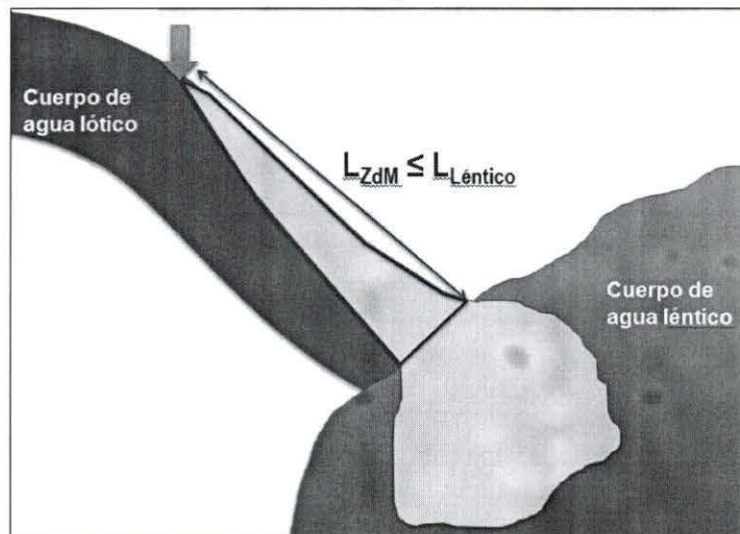
- Si existe un cuerpo de agua léntico natural o artificial (embalse, lago, laguna, o similares) aguas abajo del vertimiento, a una distancia menor a la longitud de la zona de mezcla determinada con la metodología simplificada indicada en el capítulo II.2.1, la zona de mezcla se delimita hasta antes de este cuerpo de agua léntico.

$$L_{ZdM} \leq L_{Léntico}$$

donde,

$L_{Léntico}$ es la distancia del vertimiento hasta el cuerpo de agua léntico aguas abajo del vertimiento.

Gráfico N°12: Restricción de la longitud de la Zona de Mezcla en el caso de cuerpo de agua léntico aguas abajo y en proximidad del vertimiento de aguas residuales tratadas.



Esta restricción considera que el método simplificado de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA) no es aplicable para este caso específico. Por lo tanto, la longitud de la zona de mezcla debe ser restringida hasta antes del cuerpo de agua léntico. Sin embargo, utilizando los modelos hidrodinámicos de elementos finitos (por ejemplo EFDC), es posible determinar la extensión de la zona de mezcla también en esta situación compleja y no se deberá aplicar la restricción indicada.

1.9. Determinación del Caudal Disponible para la Dilución

Una de las variables de mayor importancia para la evaluación del impacto ambiental de un vertimiento de aguas residuales tratadas es el caudal del cuerpo receptor que está disponible para la dilución. Dado que

⁸ Se podrá considerar un vertimiento de caudal alto, cuando la relación entre el caudal del vertimiento y el caudal disponible para dilución sea mayor que 1:20, dado que a partir de esta relación las exigencias para cumplir los ECA-Agua pueden ser más restrictivas que los LMP.

cuerpos de agua loticos están caracterizados por una alta variabilidad de su caudal, se podrá aplicar una metodología simplificada para determinar el caudal disponible para la dilución.

La mayor concentración aguas abajo de un vertimiento ocurrirá cuando el caudal del cuerpo receptor disponible para la dilución sea mínimo. Este menor caudal se denomina "caudal crítico".

En muchos estados de los EE.UU. se determina el caudal crítico mediante un análisis estadístico de una serie histórica de datos hidrológicos. Frecuentemente para el análisis de impactos en la salud de parámetros no-cancerígenos, se ha definido el caudal crítico como el caudal mínimo medio de 30 días consecutivos para un periodo de retorno de 5 años (30Q5), que es un valor determinado a base de un análisis estadístico de una serie histórica de datos hidrológicos de diez o más años.

Dado que en muy pocos casos, se dispondrá de un registro de caudales de diez o más años, se podrá usar una de las siguientes metodologías simplificadas para determinar el caudal crítico:

- Cuando se dispone de una serie histórica del caudal del cuerpo receptor medido o generado mediante modelo hidrológico calibrado de por lo menos 5 años que es representativa para el cuerpo de agua en la ubicación del vertimiento, el caudal crítico ($Q_{RH,crit}$) será el valor mínimo de los caudales mensuales medios en los últimos 5 años. Notase que no se deberá considerar los caudales extremos debidos a la ocurrencia de fenómenos naturales, como el fenómeno El Niño⁹.
- Cuando no se dispone de una serie histórica del caudal, se efectúa una medición del caudal del cuerpo receptor al final del mes en el cual el promedio multianual de las precipitaciones mensuales tiene el valor mínimo (determinado a base del record histórico de la estación meteorológica más cercana). Este caudal medido - Q_x - se corrige según la siguiente fórmula:

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

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

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

En el caso que el proyecto prevé la regulación del caudal del cuerpo receptor y debe asegurar un caudal mínimo para la atención de otros usos aguas abajo, el caudal crítico será igual al caudal mínimo establecido en el Instrumento de Gestión Ambiental.

En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa (cuando el vertimiento está influenciado por aguas de precipitaciones como en actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto o cuando se trate de una actividad productiva estacional) es conveniente determinar el caudal crítico para cada mes, lo que permitirá aprovechar la mayor capacidad de dilución del cuerpo receptor en los meses de lluvia. Cuando se dispone de una serie histórica de por lo menos 5 años del caudal del cuerpo receptor medido o generado mediante modelo hidrológico calibrado, los caudales mensuales críticos corresponden a los caudales mensuales mínimos observados de toda la serie de datos. Cuando no se dispone de una serie histórica de caudales, se deberá realizar una medición del caudal en el cuerpo de agua en proximidad al futuro vertimiento en cada mes del año y calcular los caudales mensuales críticos dividiendo los caudales medidos con el factor de seguridad de 2.

1.9.1 Reducción del Caudal Crítico en el Caso de una Zona de Mezcla Restringida

En el caso que es necesario restringir la extensión de la zona de mezcla según los criterios definidos en el capítulo II.2.3, también el caudal crítico debe ser reducido según la siguiente ecuación, dado que no se podrá aprovechar la sección de flujo total para la dilución.

⁹ Véase D.S. 023-2009-MINAM, Art. 7 „Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares Nacional de Calidad Ambiental para Agua”.

Para un vertimiento en la orilla del río el caudal crítico reducido se calcula con:

$$Q_{RH,crit,red} = Q_{RH,crit} \cdot \frac{\sqrt{(2 \pi D_y L_{ZdM} / u)}}{W_{min}}$$

Para un vertimiento en el centro del río el caudal crítico de dilución reducido se calcula con:

$$Q_{RH,crit,red} = Q_{RH,crit} \cdot \frac{\sqrt{(8 \pi D_y L_{ZdM} / u)}}{W_{min}}$$

donde,

$Q_{RH,crit}$... es el caudal crítico disponible para la dilución determinado según lo indicado en el capítulo II.3

L_{ZdM} ... es la longitud reducida de la zona de mezcla determinada según lo indicado en el capítulo II.2.3, en metros.

W_{min} ... es el ancho medio del cuerpo de agua en un tramo de 500 m aguas abajo del vertimiento en temporada de estiaje, en metros.

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

D_y ... es el coeficiente de dispersión lateral aguas abajo del vertimiento en temporada de estiaje y se calcula con la ecuación indicada en capítulo II.2.1.

En el caso que se requiere determinar la capacidad de dilución del cuerpo variable en los diferentes meses del año para aprovechar la mayor capacidad de dilución del cuerpo receptor en los meses de lluvia, se deberá calcular el caudal crítico de dilución reducido para cada mes, aplicando las variables hidrodinámicas del río (velocidad de flujo, ancho y profundidad) características de cada mes.

I.10. Determinación de las Concentraciones en el Cuerpo Natural de Agua

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, es necesario contar con información respecto a las concentraciones que ya se encuentran en el cuerpo receptor; por lo tanto, se deberá determinar las características química-físicas del cuerpo receptor a través de la toma de muestras de agua y análisis en un laboratorio cuyos parámetros estén acreditados antes INDECOPI.

La toma de muestra deberá ser realizada en el punto de vertimiento proyectado. En el caso de un vertimiento en curso y en fase de adecuación a la normatividad ambiental, el punto de toma de muestra deberá ser ubicado fuera de la zona de influencia del vertimiento actual. La distancia debería ser suficiente para poder excluir la influencia del vertimiento sobre la calidad del agua en el punto de control. Asimismo, la distancia no debería ser muy grande para poder excluir que entre el punto de control y el vertimiento existan otras fuentes de contaminación, lo que perjudicaría al administrado, dado que potenciales alteraciones de la calidad del agua que originan de estas fuentes podrían ser inculpadados al vertimiento. Se recomienda una distancia entre 20 y 50 metros, quedando a potestad del administrado la propuesta de otras distancias.

En el caso de un vertimiento proyectado con un caudal constante a lo largo del año, será suficiente determinar las concentraciones presentes en el cuerpo receptor en el periodo más crítico, es decir en el periodo de estiaje.

En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa (cuando el vertimiento está influenciado por aguas de precipitaciones como en actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto o cuando se trate de una actividad productiva estacional) se deberá determinar las concentraciones presentes en el cuerpo receptor en las varias estaciones hidrológicas del año (estiaje, transición y avenida), para poder calcular la capacidad de asimilación del cuerpo receptor variable en el año.

Se deberá analizar los parámetros, que están potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas, que son aquellos definidos para las diferentes actividades y categorías de ECA-Agua en la tabla 2 (cap. I.2), y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua de la categoría correspondiente.

I.11. Balance de Masas

Para todos los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas vertidas, se deberá determinar sus concentraciones aguas abajo de la zona de mezcla mediante el balance de masas:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

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

$$C_0 \leq C_{ECA}$$

donde:

C_0 es la concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.

C_{ECA} es el ECA-Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda.

C_{RH} es la concentración en el cuerpo receptor, determinada según capítulo II.4.

C_{vert} es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas, determinada según capítulo I.3.

$Q_{RH,crit}$ es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado según capítulo II.3, o II.3.1 en el caso de una zona de mezcla restringida.

Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado según capítulo I.4.

Para la evaluación de todos los parámetros contenidos potencialmente en el efluente, se deberá elaborar un cuadro que contiene la lista completa de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, la concentración calculada para cada contaminante en el cuerpo receptor aguas abajo de la zona de mezcla (C_0) y el ECA-Agua correspondiente.

En el caso que el balance de masas demuestra que la concentración calculada en el cuerpo receptor será mayor del ECA-Agua correspondiente, se deberá realizar las debidas modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias que reduzcan el volumen y/o la carga contaminante de las aguas residuales generadas o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad. Alternativamente se podrá también modificar el proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de las sustancias críticas. En el caso de zonas de mezclas restringidas, se podrá evaluar el vertimiento en el centro del río, lo que permite una mezcla completa más rápida y en consecuencia un mayor caudal crítico disponible para la dilución.

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

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

En el caso que la carga máxima en el vertimiento supera la carga admisible del cuerpo receptor, esta deberá ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos.

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

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

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

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

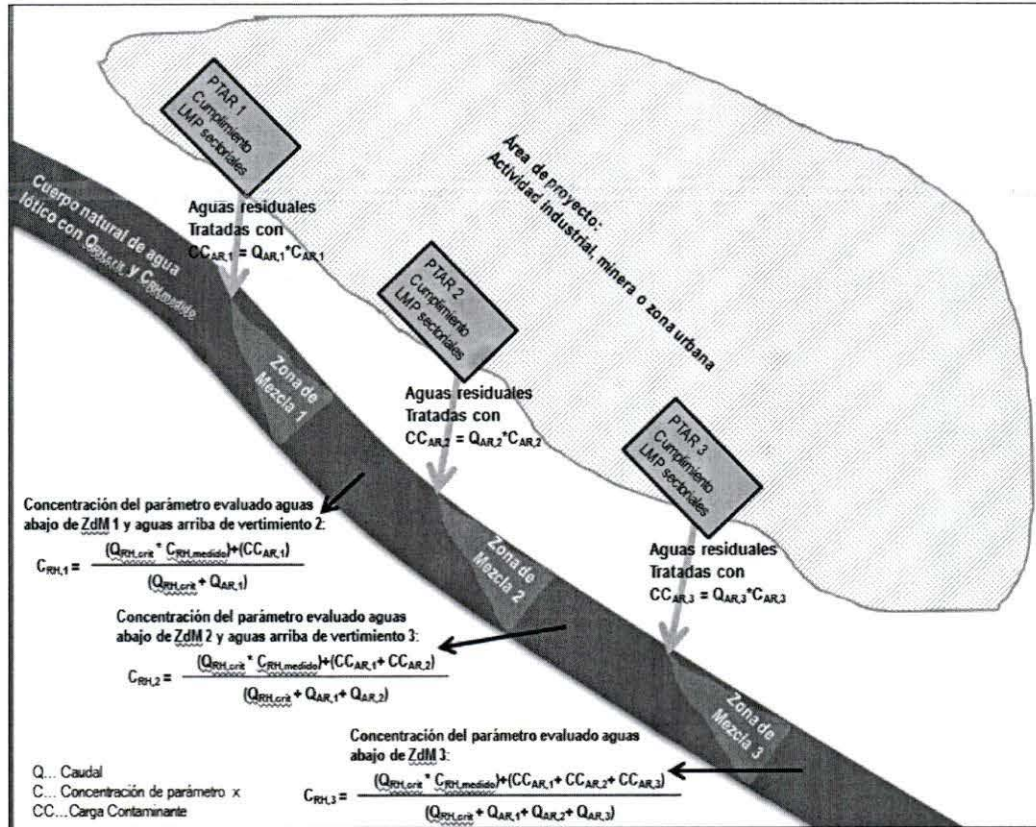
La ecuación antecedente es aplicable también para determinar la concentración máxima en el efluente, que permite cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor, de los parámetros no reglamentados por el sector con un LMP. Esta concentración máxima podrá ser usada como un criterio de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el caso que el caudal del vertimiento proyectado tenga una variabilidad mensual significativa y se requiere aprovechar la capacidad de asimilación variable del cuerpo receptor, se elabora un cuadro que contiene la lista de todos los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas vertidas, la concentración calculada en el cuerpo receptor aguas abajo de la zona de mezcla en cada mes ($C_{0,\text{enero}}$, $C_{0,\text{febrero}}$, $C_{0,\text{marzo}}$, $C_{0,\text{abril}}$, $C_{0,\text{mayo}}$, $C_{0,\text{junio}}$, $C_{0,\text{julio}}$, $C_{0,\text{agosto}}$, $C_{0,\text{setiembre}}$, $C_{0,\text{octubre}}$, $C_{0,\text{noviembre}}$, $C_{0,\text{diciembre}}$) y el ECA-Agua correspondiente. Cuando la variabilidad mensual se debe principalmente a la influencia de aguas de lluvia (actividades de explotación minera o en sistemas de alcantarillado mixto) los caudales mensuales del vertimiento serán determinados mediante modelo de escorrentía superficial con las precipitaciones del mes en el cual se observó los caudales mensuales mínimos del cuerpo receptor de toda la serie de datos.

Quando el proyecto prevé varios vertimientos al mismo cuerpo receptor o a diferentes quebradas/ríos que confluyen en un mismo cuerpo receptor, se realiza la evaluación del impacto de los dos o más vertimientos de aguas residuales tratadas que se pueden generar de manera simultánea en dicho cuerpo receptor. Tal situación se reviste de importancia al considerar que aun cuando de manera individual se determine que un vertimiento no supera la capacidad de asimilación del cuerpo receptor, de manera simultánea dichos vertimientos pueden sobrepasarla, debido a la confluencia de los vertimientos, generando el incumplimiento de la normativa ambiental. En tal sentido, se evalúa el impacto de los dos o más vertimientos en un cuerpo natural de agua de forma integral, aplicando así el principio de indivisibilidad¹⁰. Por lo tanto, en la determinación de las concentraciones en el cuerpo receptor se considera las cargas aportadas por todos los vertimientos proyectados, según el siguiente balance de masas.

¹⁰ D.S. N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley N° 27446, Artículo 3° - Principios del SEIA – Literal a.

Gráfico N°13: Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua lótico cuando el proyecto prevé más de un vertimiento de aguas residuales tratadas al mismo cuerpo receptor.



donde:

- $C_{RH,i}$ es la concentración en el cuerpo receptor aguas abajo del vertimiento i.
- $C_{RH,medido}$ es la concentración medida en el cuerpo receptor, aguas arriba de los vertimientos proyectados.
- $Q_{RH,crit}$ caudal crítico disponible para la dilución determinado según lo indicado en el capítulo II.3.
- $CC_{AR,i}$ es la carga máxima del contaminante del vertimiento i.
- $C_{AR,i}$ es la concentración máxima del vertimiento i, determinado según lo indicado en el capítulo I.3.
- $Q_{AR,i}$ es el caudal máximo del vertimiento i, determinado según lo indicado en el capítulo I.4.

En el caso que un proyecto prevé un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua que ya recibe efluentes aguas arriba, el impacto de estos se refleja en las concentraciones determinadas en la toma de muestra en el punto de vertimiento proyectado y no es necesario considerar las cargas de estos vertimientos de forma específica.

Existen dos casos especiales donde el balance de masa no es aplicable para la evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua, aguas abajo de un vertimiento:

- Vertimiento a un cuerpo de agua lótico intermitente y transitoriamente seco.
- Vertimiento a un cuerpo natural de agua lótico en el cual el parámetro evaluado se encuentre en concentraciones que superan al ECA-Agua correspondiente.

Estos dos casos se discuten a continuación:

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

crítico de dilución alguno en tanto los flujos naturales de agua que conduzca sean nulos; la ecuación del balance de masas se reduce a lo siguiente:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})} = \frac{(C_{RH} \cdot 0) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(0 + Q_{vert})} = \frac{C_{vert} \cdot Q_{vert}}{Q_{vert}} = C_{vert}$$

$$C_0 = C_{vert}$$

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

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

Esto significa que la calidad de las aguas residuales tratadas a verter, por lo menos en la época de estiaje, debería ser la correspondiente a los ECA-Agua, para la categoría que corresponda ¹¹.

Considerando las dificultades del tratamiento a niveles del ECA-Agua, se recomienda evaluar otras opciones de disposición final, como el reúso de las aguas en la época de estiaje o el vertimiento de las aguas residuales a otro cuerpo receptor de mayor caudal.

En el caso de un vertimiento a un cuerpo de agua lotico en el cual el parámetro evaluado se encuentre en concentraciones superiores al ECA-Agua correspondiente, es decir $C_{RH} \geq C_{ECA}$, el balance de masas arroja el siguiente resultado. Suponiendo que la concentración en las aguas residuales tratadas sea igual o menor que la concentración en el cuerpo receptor $C_{vert} \leq C_{RH}$ ¹² se obtiene:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})} \leq \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{RH} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})} = \frac{C_{RH} \cdot (Q_{RH,crit} + Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})} = C_{RH}$$

$$C_0 \leq C_{RH}$$

Con esto se demostró que, si la concentración del parámetro en el efluente sea igual o menor de su concentración en el cuerpo receptor, el vertimiento no causará un incremento de la concentración en el cuerpo natural de agua y no creará un impacto adicional en el cuerpo natural de agua afectado por otras fuentes de contaminación, dado que la concentración aguas abajo del vertimiento (C_0) es igual o menor de la concentración aguas arriba (C_{RH}).

Sin embargo, en el caso se pueda demostrar que un cuerpo natural de agua presente parámetros en concentraciones superiores a los ECA-Agua debido a condiciones naturales, este cuerpo de agua podrá ser exceptuado de la aplicación de determinados ECA-Agua (artículo 7 del D.S. 023-2009-MINAM). Administrativamente la exceptuación es realizada mediante la aprobación por la ANA del estudio técnico que sustente la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad de las aguas naturales. Asimismo, la ANA deberá comunicar al MINAM los cuerpos de agua y los parámetros de excepción.

1.11.1 Balance de masas de nitratos

La concentración de los nitratos se incrementa debido a la nitrificación del nitrógeno amoniacal y llega a su valor máximo aguas abajo y distante de la zona de mezcla, para luego reducirse lentamente por la desnitrificación en zonas anaeróbicas del cuerpo de agua y la asimilación en las algas. Por lo tanto, para la

¹¹ Véase Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA "Aprobación del nuevo Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimientos y Reúsos de Aguas Residuales Tratadas", artículo 6, numeral 6.4: "No se podrá autorizar vertimiento de aguas residuales tratadas a lechos de quebrada seca o cauce inactivo, salvo que esté considerado como la última alternativa de disposición final en el instrumento de gestión ambiental aprobado. En este caso las aguas residuales tratadas deberán cumplir con los ECA-Agua de la categoría que corresponda."

¹² Véase Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM "Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua", artículo 8, numeral 8.5: "En caso que, la calidad ambiental de un cuerpo de agua supere uno o más parámetros de los ECA para agua, la autoridad competente sólo aprobará los instrumentos de gestión ambiental de los proyectos que se desarrollen en dicha cuenca o zona marino costera, cuando se aseguren que el vertimiento, no contenga los referidos parámetros del ECA superado."

evaluación del cumplimiento del ECA-Agua de este parámetro se aplica una metodología diferente al simple balance de masas.

Para vertimientos de aguas residuales que contienen nitrógeno a cuerpos de agua lóticos de categoría 3, que tributan a cuerpos de agua lenticos, o de categoría 1, se deberá evaluar el cumplimiento del ECA-Agua del parámetro nitratos (N-NO₃) mediante la siguiente ecuación:

$$(C(N-NH_4)_{vert} \cdot Q_{vert} + C(N-NH_4)_{RH} \cdot Q_{RH,crit} + C(N-NO_3)_{vert} \cdot Q_{vert} + C(N-NO_3)_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) < C(N-NO_3)_{ECA} \cdot (Q_{vert} + Q_{RH,crit})$$

Esta inecuación considera que el nitrógeno amoniacal se transforma en la nitrificación completamente a nitratos; por lo tanto, evalúa si la carga de nitrógeno (suma de nitrógeno amoniacal y nitratos) aguas abajo del vertimiento es menor de la carga admisible (Caudal total · ECA para N-NO₃).

Dado que la concentración máxima de nitratos ocurre aguas abajo y distante de la zona de mezcla, donde se puede suponer mezcla completa, en el balance de masas de nitrógeno se aplica el caudal de dilución crítico total, no debiendo aplicar el caudal de dilución crítico reducido calculado para zonas de mezcla restringidas.

En el caso que la evaluación anterior indique un riesgo de incumplimiento del ECA-Agua de los nitratos, se deberá reducir la carga de nitrógeno del vertimiento, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias, sistemas de tratamiento avanzados o terciarios o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad.

Para calcular la concentración máxima admisible de nitrógeno total que permitirá cumplir el ECA-Agua de nitratos se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$C(N_{tot})_{vert} \leq C(N-NO_3)_{ECA} + \frac{Q_{RH,crit} \cdot (C(N-NO_3)_{ECA} - C(N-NH_4)_{RH} - C(N-NO_3)_{RH})}{Q_{vert}}$$

Alternativamente, se podrá evaluar el cumplimiento del ECA-Agua de los nitratos aplicando los modelos de autodepuración¹³ que simulan todos los procesos del ciclo de nitrógeno, tales como nitrificación, desnitrificación, sedimentación, asimilación en las algas y dilución por tributarios y pueden resultar en una concentración admisible en el efluente menos restrictiva que aquella calculada con el balance de masas descrito en lo anterior.

I.12. Evaluación de la Concentración Mínima de Oxígeno Disuelto Aguas Abajo de la Zona de Mezcla

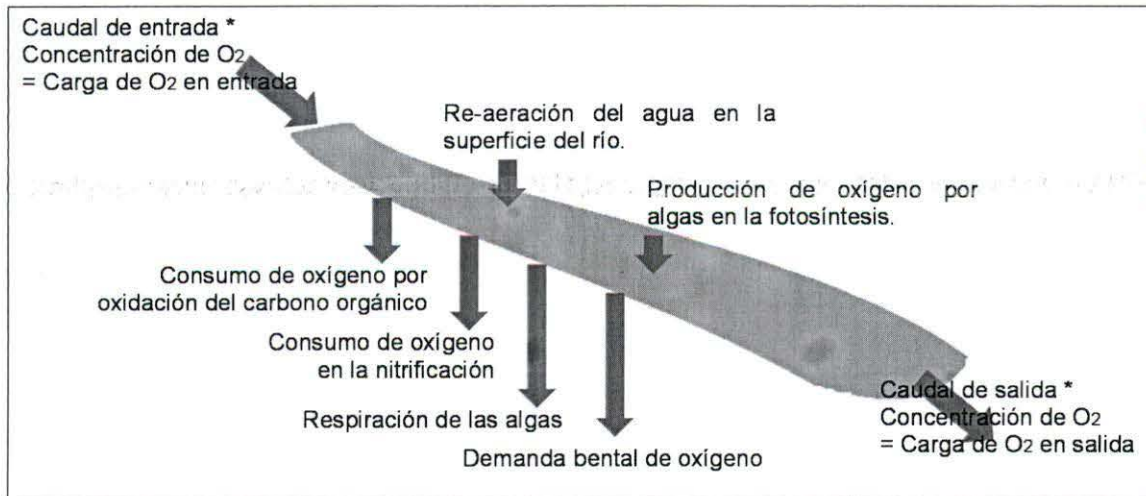
En el caso de un vertimiento de aguas residuales tratadas que contienen carga orgánica, se deberá evaluar las concentraciones de oxígeno disuelto en el cuerpo natural de agua lótico.

Las concentraciones del oxígeno disuelto aguas abajo de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lótico son influenciados por una serie de procesos biológicos y físicos. El balance completo de oxígeno en un río abarca los elementos representados en el siguiente gráfico.



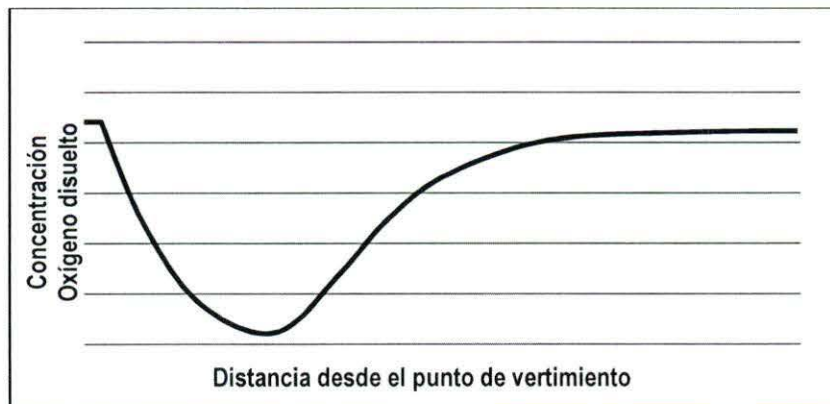

¹³ Modelo de Streeter-Phelps aplicado en el software Ríos-4, RIOS EP, QUAL2K y otros.

Gráfico N°14: Componentes del balance de oxígeno disuelto en un tramo de un cuerpo natural de agua lotico.



Debido al consumo de oxígeno en la oxidación microbológica de la materia orgánica contenida en el efluente y la nitrificación del nitrógeno amoniacal, el oxígeno disuelto se reduce hasta una concentración mínima para luego recuperarse por la re-aeración y la producción de oxígeno de las algas. El punto de la concentración mínima de OD por lo general está ubicado algunos kilómetros aguas abajo de la zona de mezcla.

Gráfico N°15: Concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua lotico aguas abajo de un vertimiento que contiene carga orgánica.



Para la evaluación del cumplimiento del ECA-Agua, que prescribe un valor mínimo admisible entre 2,5 y 6 mgO₂/L para las diferentes categorías, se aplica una metodología diferente al simple cálculo de dilución, pudiéndose usar la metodología simplificada, descrita en lo siguiente, o elaborar un modelo de autodepuración del río¹⁴.

En ambos casos, la evaluación deberá realizarse para las condiciones más críticas, las cuales se encuentran en la época de estiaje, debido a bajos caudales disponibles para la dilución y temperaturas del agua relativamente altas.

El método simplificado corresponde a la siguiente inecuación:

$$ECA_{O_2} \leq C_{O_2, RH} - D_c$$

donde:

¹⁴ Modelo de Streeter-Phelps aplicado en el software Rios-4, RIOS EP, QUAL2K y otros.

ECA_{O2} es el ECA-Agua de oxígeno disuelto en la categoría correspondiente al cuerpo receptor, en mg O₂/L.

CO_{2,RH} es la concentración de oxígeno disuelto medida en el cuerpo receptor en el periodo evaluado (periodo de estiaje o mes evaluado).

D_C es el déficit máximo de oxígeno disuelto, en mg/L, que se calcula con (HYDROSCIENCE, 1971):

$$D_C = L_0 \cdot \phi^{1-\phi}$$

L₀ es demanda de oxígeno disuelto debido a consumo de materia orgánica (mg O₂/L), que se calcula con:

$$L_0 = \frac{DBO_{U,vert} \cdot Q_{vert} + DBO_{U,RH} \cdot Q_{RH,crit}}{(Q_{vert} + Q_{RH,crit})}$$

DBO_{U,vert} es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del vertimiento determinada según el siguiente detalle:

Cuando la DBO₅ máxima del efluente esté reglamentada por el sector correspondiente con un Límite Máximo Permissible, la DBO_{cu,vert} podrá ser estimada aplicando una relación empírica entre la DBO₅ y la DBO_{cu} indicada en la literatura, que depende de las características del efluente y del grado de tratamiento biológico:

- Para aguas residuales domesticas-municipales luego de tratamiento primario solamente:

$$DBO_{cu,vert} = DBO_5 \cdot 1,43$$

- Para aguas residuales domesticas-municipales luego de un tratamiento secundario:

$$DBO_{cu,vert} = DBO_5 \cdot 3,20$$

Para los efluentes industriales¹⁵ y/o provenientes de otro tipo de tratamiento (como el tratamiento avanzado) existen pocas referencias bibliográficas, por lo que la DBO_{cu,vert} debería ser determinada en ensayos de laboratorio de una duración mínima de 20 días con inhibición de la nitrificación. En el caso de vertimientos proyectados, donde no es posible realizar ensayos de laboratorio del efluente, es posible suponer que el DBO carbonácea última corresponde al Límite Máximo Permissible o a la concentración máxima de la DQO. Esta suposición es conservadora, dado que la DQO abarca también otros compuestos oxidables que no son biodegradables.

DBO_{U,RH} es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del cuerpo de agua determinada en un ensayo de laboratorio de 20 días.

Q_{RH,crit} es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado según capítulo II.3.¹⁶

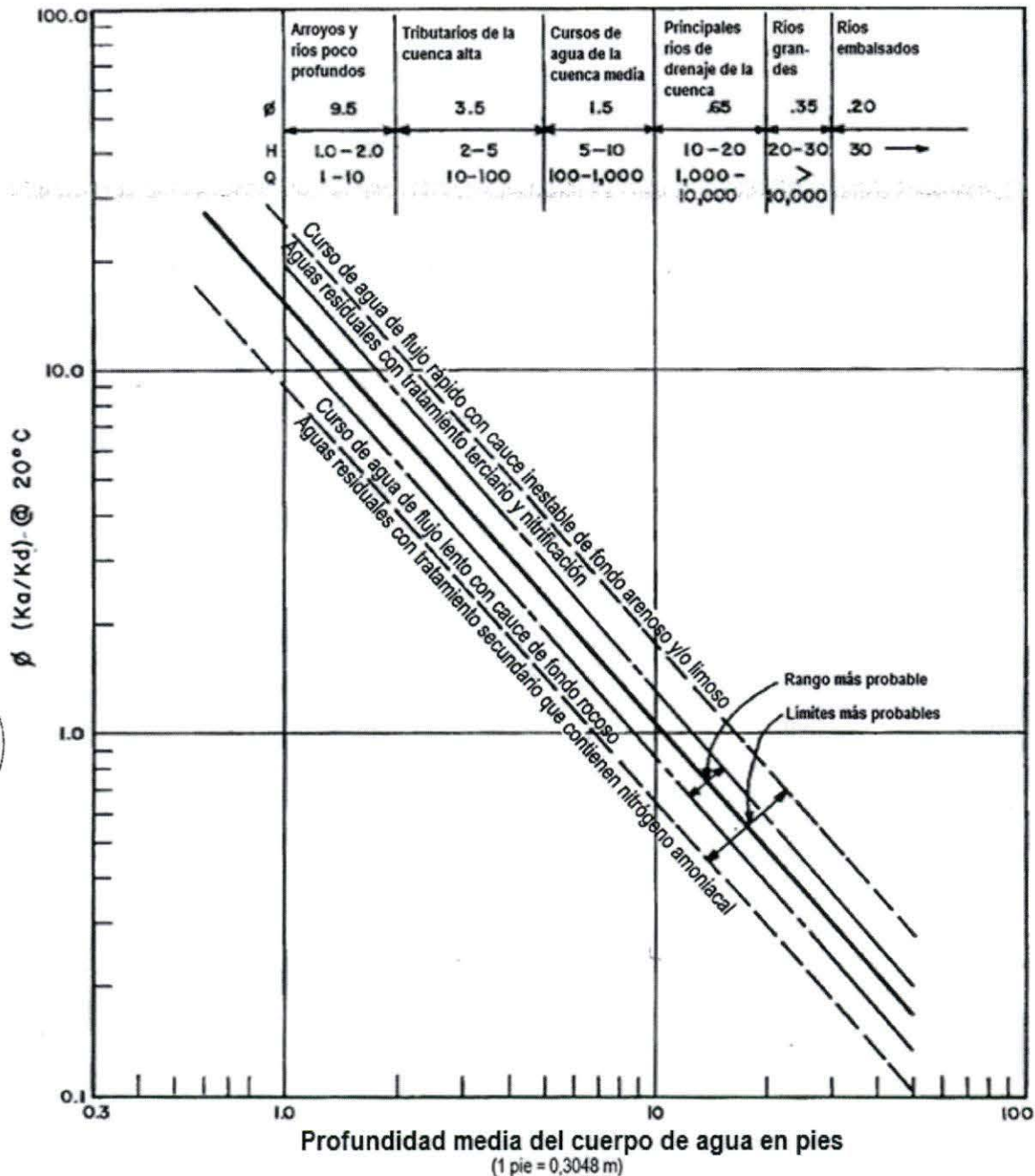
Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado según capítulo I.4.

Φ es la tasa de asimilación definida con K_a/K_d (tasa de reaeración entre tasa de desoxigenación carbonácea), que puede ser determinada en función de la profundidad media del cuerpo natural aplicando el gráfico siguiente:

¹⁵ Efluentes de la agroindustria, industria de papel, producción de cerveza, procesamiento de leche, etc.

¹⁶ Nota: En la evaluación del oxígeno disuelto se puede usar el caudal crítico total, no debiendo aplicar el caudal de dilución crítico reducido calculado para las zonas de mezcla restringidas, dado que la concentración mínima de oxígeno disuelto ocurre aguas abajo y distante de la zona de mezcla, donde se puede suponer mezcla completa.

Gráfico N°16: Tasa de asimilación de oxígeno disuelto - ϕ (SALAS H. y MARTINO P., 1990).



Si esta evaluación indica que el vertimiento causará una concentración de oxígeno disuelto menor del ECA-Agua, se deberá reducir la carga de materia orgánica del vertimiento, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias, sistemas de tratamiento avanzadas o terciarias o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad. También se podrá evaluar la nitrificación parcial o total del nitrógeno amoniacal contenido en las aguas residuales, lo que reduce el consumo de oxígeno en el cuerpo receptor significativamente.

I.13. Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua lotico

En lo siguiente se describen los criterios generales para establecer el programa de control de los impactos del vertimiento en los cuerpos naturales de agua lotico, el cual comprende la determinación de las cargas contaminantes en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial:

- La ubicación del punto de control de las cargas de las aguas residuales tratadas es seleccionada de modo que permita la caracterización del efluente vertido y la toma de muestra en condiciones seguras. De ser necesario se preverá la instalación de un pozo entre la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales y el punto de vertido, que permita el fácil acceso y la toma de muestras de aguas residuales tratadas.
- Los puntos de control de cumplimiento de los ECA-Agua, estarán ubicados en el límite de la zona de mezcla en el cuerpo receptor, considerando los siguientes criterios:
 - Un punto aguas arriba del vertimiento en una distancia que debería ser suficiente para poder excluir la influencia del vertimiento sobre la calidad del agua en el punto de control. Asimismo, la distancia no debería ser muy grande para evitar que entre el punto de control y el vertimiento existan otras fuentes de contaminación, lo que perjudicaría al administrado, dado que potenciales alteraciones de la calidad del agua que originan de estas fuentes podrían ser inculpados al vertimiento. Se recomienda una distancia entre 20 y 50 metros, quedando a potestad del administrado y posterior aprobación por parte de la autoridad competente, la propuesta de otras distancias.
 - Un punto aguas abajo del vertimiento en el límite de la zona de mezcla, determinado según lo indicado en el capítulo II.2. La toma de muestra en este punto debería ser realizada en la proximidad de la orilla donde se realiza el vertimiento. Para el caso de un vertimiento en el centro del cauce, el punto de control también deberá estar ubicado en el centro del cauce, aproximadamente a la misma distancia de la orilla que el vertimiento.
 - Si existen tributarios al cuerpo receptor en la zona de mezcla, se deberá establecer un punto de control adicional en cada tributario antes de la confluencia con el cuerpo receptor, a fin de poder cuantificar el efecto del tributario en términos de carga contaminante adicional o de dilución.
- En el caso de vertimientos que contienen alta carga orgánica¹⁷ y la evaluación indicó un riesgo de incumplimiento del ECA-Agua de oxígeno disuelto, se deberá establecer puntos de control adicionales aguas abajo del vertimiento, donde se monitorea las concentraciones del oxígeno disuelto. La ubicación del punto de control puede ser determinado con el modelo de autodepuración, calculando la distancia desde el vertimiento hasta el punto donde se producirá la concentración mínima de oxígeno disuelto; en su defecto se establece varios puntos de control hasta una distancia del vertimiento de aprox. 10 km. Este control deberá ser realizado en las mismas fechas que el muestreo de agua natural y residual.
- Los parámetros de control en el cuerpo receptor comprenden los parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura), los parámetros recomendados para las diferentes actividades y categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural en la Tabla N° 2, capítulo I.2, y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua, en la categoría correspondiente.
- Los parámetros de control en el efluente deberían ser coherentes, tratando en lo posible que sean los mismos que en el cuerpo receptor. Asimismo, debe considerarse los parámetros para los cuales el sector correspondiente haya definido un Límite Máximo Permisible.
- Para poder determinar la carga contaminante en el efluente vertida al cuerpo natural de agua, se deberá determinar en cada toma de muestra el caudal de aguas residuales tratadas vertidas mediante el dispositivo de medición instalado¹⁸ o en su defecto mediante una metodología manual (correntómetro, balde o flotador). La ubicación del caudalímetro o del dispositivo de medición podrá ser seleccionada por el administrado en función de consideraciones técnicas y de accesibilidad; el único requisito por parte de la autoridad es que la ubicación seleccionada permita la medición del caudal total de las aguas residuales tratadas vertidas al cuerpo receptor.

¹⁷ Vertimientos que contienen alta carga orgánica tales como aguas residuales tratadas municipales, domésticas, de industria papelería, alimenticia, acuícola, agroindustrial, cervecera, entre otros.

¹⁸ El Artículo 136° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos sobre la Medición y control de vertimientos, establece que es responsabilidad del administrado instalar sistemas de medición de caudales de agua residual tratada y reportar los resultados de la medición.

Cabe precisar que la toma de muestra de las aguas residuales a caracterizar debería realizarse en conformidad con los Protocolos de Monitoreo de Efluentes publicados por el sector correspondiente; y, los puntos de control en el cuerpo receptor serán muestreados según R.J. N°010-2016-ANA.

- La frecuencia de control de las cargas contaminantes en el efluente y de la calidad del cuerpo natural de agua será determinada en función del volumen anual de las aguas residuales tratadas vertidas:

Volumen anual (m ³)	Nº de monitoreos por año	Frecuencia de control*
< 300 000	1	Anual
300 000-3 000 000	2	Semestral
>3 000 000-9 000 000	4	Trimestral
> 9 000 000	12	Mensual

(*) En el caso de vertimientos realizados por actividades estacionales, el número total de los monitoreos indicados en la tabla anterior deberán ser realizados en el periodo de producción con una frecuencia regular (Ejemplo: Actividad con 4 meses de producción y 400 000 m³ de volumen anual de aguas residuales => 2 monitoreos con frecuencia bimensual a realizarse en el periodo de producción).

Quando los volúmenes medios mensuales de aguas residuales tratadas vertidas son constantes, el control en el cuerpo natural de agua puede, previo sustento técnico, ser realizado en la época de estiaje solamente, es decir, durante los tres meses de menor caudal en el cuerpo receptor.

En el caso que las normas ambientales sectoriales¹⁹ establecen una frecuencia de control más alta, el programa de control deberá ser conforme a las mismas.

- Cabe precisar, que la toma de muestra del cuerpo natural de agua y del agua residual, debería ser realizada en la misma fecha.
- De acuerdo a la magnitud del proyecto, la estabilidad del proceso de tratamiento (tecnologías de tratamiento químico-físicos) y la sensibilidad ambiental y social del cuerpo receptor (áreas naturales protegidas o usos poblacionales del recurso hídrico aguas abajo del vertimiento), se recomienda prever estaciones de control automático de los parámetros pH, conductividad y turbiedad, reporte en tiempo real y mecanismos de alerta temprana cuando ocurran variaciones anómalas de los parámetros monitoreados. Las estaciones automáticas, que monitorean en continuo los parámetros básicos, son herramientas de gestión ambiental muy útiles para los administrados, dado que les permite identificar en tiempo real potenciales fallas de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales e intervenir en plazos muy cortos. Esta intervención rápida puede evitar o reducir significativamente los impactos ambientales ocasionados accidentalmente y los consecuentes daños en el ambiente y/o en la salud de las personas, lo que es de particular relevancia en ecosistemas sensibles y cuando existen usos poblacionales del recurso hídrico. Asimismo, el uso de estaciones automáticas en conjunto con los mecanismos de intervención rápida, pueden reducir significativamente el riesgo de la empresa frente a fallas del sistema de tratamiento de aguas residuales y los consecuentes costos por la remediación ambiental, denuncias o conflictos socio-ambientales. Por lo tanto, se recomienda que cada proyecto

¹⁹ Véase:

- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACIÓN Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES (2000) "Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI, aprueba el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos" del sector Industria.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2016) "Resolución Ministerial N° 061-2016-PRODUCE, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto".
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2013) "Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR".
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2010) "Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"; que dispone que hasta la entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se deberá aplicar la frecuencia de monitoreo establecida en el art. 7° de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1996).

evalúe la implementación de estaciones automáticas en función de sus costos y sus beneficios en términos de la reducción del riesgo de ocasionar accidentalmente impactos ambientales y de salud.

I.14. Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua

Los titulares de actividades que cuentan con un Instrumento de Gestión Ambiental aprobado por la autoridad competente y que requieren adecuar sus Planes de Manejo Ambiental a los ECA-Agua en conformidad a lo establecido en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, podrán aplicar el presente Lineamiento según el siguiente detalle:

1. Recopilación de todos los datos disponibles del control del vertimiento y evaluación de las concentraciones medidas en el cuerpo receptor aguas abajo del vertimiento que cumplan con los ECA-Agua de la categoría correspondiente. En el caso, que esta evaluación demuestre que el vertimiento no causa ningún incumplimiento de los ECA-Agua asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad (véase tabla 2, capítulo I.2), no se deberá realizar evaluaciones adicionales.

2. En el caso, que se haya encontrado incumplimientos de los ECA-Agua se deberá analizar si los parámetros críticos ya exceden los ECA-Agua aguas arriba del vertimiento. En el caso este análisis confirme que el cuerpo receptor ya se encuentra contaminado aguas arriba del vertimiento, se podrá proponer una de las siguientes medidas:

- 2.1 En el caso se pueda demostrar que el cuerpo de agua presente parámetros en concentraciones superiores a los ECA-Agua debido a las condiciones naturales, como por ejemplo cuando aguas arriba del vertimiento no existan fuentes antropogénicas del parámetro crítico, se propondrá que este cuerpo de agua sea exceptuado de la aplicación del ECA-Agua específico haciendo referencia al artículo 7 del D.S. 023-2009-MINAM. Considérese que la excepción debería ser sustentada mediante un estudio técnico que demuestre la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad de las aguas naturales, el cual deberá ser aprobado por la ANA.
- 2.2 Cuando la contaminación no se origina de fuentes naturales, se deberá proyectar las medidas que permitan reducir la concentración del parámetro crítico a niveles iguales o menores de la concentración en el cuerpo receptor²⁰:

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

Estas medidas abarcan modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias, o al sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de las sustancias críticas.

3. En el caso que los incumplimientos de los ECA-Agua fueron observados aguas abajo del vertimiento solamente, se deberá suponer una de las dos siguientes condiciones que deberían ser comprobadas con las metodologías propuestas en el presente Lineamiento:
 - 3.1 El punto de control aguas abajo del vertimiento está ubicado al interior de la zona de mezcla y no es válido para controlar el cumplimiento de los ECA-Agua²¹.
Se determina la extensión de la zona de mezcla según lo descrito en el capítulo II.2 y se comprueba que el punto de control esté ubicado fuera de la zona de mezcla. En el caso contrario, el administrado propone la reubicación del punto de control establecido aguas abajo del vertimiento.

²⁰ Véase sustento técnico en el capítulo II.5.

²¹ Véase el artículo 5 del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM - Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: "En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla..."

3.2 La carga contaminante del vertimiento de aguas residuales tratadas excede la capacidad de asimilación del cuerpo receptor.

Se determina la carga contaminante de vertimiento admisible aplicando el balance de masa descrito en el capítulo II.5:

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

La carga contaminante de vertimiento admisible se compara con la carga contaminante máxima del vertimiento. Nótese que este análisis deberá ser realizado solamente para aquellos parámetros de los cuales se ha encontrado incumplimientos de los ECA-Agua correspondientes.

En el caso, que la actividad genera dos o más vertimientos a un mismo cuerpo receptor, en la determinación de la carga contaminante máxima se deberá considerar el aporte de todos los vertimientos de aguas residuales tratadas (véase capítulo II.5.).

Si la carga contaminante máxima de vertimiento supera la carga contaminante admisible, esta deberá ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos, implementando las respectivas modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo tecnologías limpias o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad, o incrementando la eficiencia de remoción de las sustancias críticas del sistema de tratamiento de aguas residuales.

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

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

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

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



Edwin Ventura Ch.



III. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA LENTICO (LAGOS, LAGUNAS, EMBALSES)



ÍNDICE DE LA PARTE III

III.1.	Generalidades sobre el vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lenticó.....	38
III.2.	La zona de mezcla en cuerpos de agua lenticos	38
III.3.	Información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lenticó	38
III.3.1	Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua	39
III.3.2	Densidad del agua natural.....	39
III.3.3	Determinación del índice de intercambio de agua de la laguna o lago	41
III.4.	Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental a largo plazo.....	42
III.5.	Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental en el límite de la zona de mezcla.....	44
III.5.1	Modelos numéricos para la determinación de la dilución inicial y de la extensión máxima de la zona de mezcla	45
III.5.2	Emisores subacuáticos con difusores de orificios múltiples	46
III.6.	Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua.....	47
III.7.	Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua	49



I.15. Generalidades sobre el vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lenticó

Los ambientes lenticos son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar en periodos largos de meses a años, con corrientes horizontales de velocidad de flujo muy baja. Comprenden todas las aguas superficiales continentales no corrientes, cuales: lagunas, lagos, embalses, reservorios y otros de características similares.

Los cuerpos naturales de agua lenticos son considerados ecosistemas acuáticos sensibles, dado su elevado valor eco sistémico y socio-cultural y los largos tiempos necesarios para su recuperación, en el caso de afectación por el vertimiento de aguas residuales. La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 define en el artículo 99°, numeral 99.2 que los ecosistemas frágiles comprenden, entre otros, las lagunas alto-andinas.

Dado que se trata de cuerpos de agua sensibles a la contaminación, el vertimiento de aguas residuales tratadas a lagunas y lagos, particularmente las lagunas alto-andinas, debería ser considerado como la última alternativa de disposición final. El tratamiento previo de las aguas residuales vertidas a un cuerpo de agua lenticó por lo general será terciario o avanzado, para no causar un incumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental.

La evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a lagunas y lagos, comprende la determinación de la zona de mezcla y la verificación del cumplimiento de los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla, y la determinación del índice de intercambio de agua de la laguna o lago empleado como cuerpo receptor para la verificación del cumplimiento de los ECA-Agua a largo plazo.

I.16. La zona de mezcla en cuerpos de agua lenticos

La zona de mezcla en lagos y lagunas, es aquel volumen de agua dentro del cual la calidad del agua no cumple con las normas ambientales debido al vertimiento de aguas residuales tratadas; está delimitada por la superficie y el fondo del lago o laguna y la superficie esférica donde la calidad del agua cumple con las normas ambientales debido a la dilución de las aguas residuales tratadas vertidas.

En la zona de mezcla se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química. El propósito de la zona de mezcla es utilizar la capacidad de dilución del cuerpo receptor permitiendo una región limitada donde las concentraciones exceden los ECA-Agua, lo que implica un uso limitado del agua en esta región.

Dado que la zona de mezcla es un área de incumplimiento de los ECA-Agua, en ningún caso debería acercarse a menos de 50 m de las zonas de uso de agua, así como a la toma de agua para uso poblacional o agrícola, áreas de actividades recreativas de contacto primario, o áreas de acuicultura²². De igual forma, se deberá prever una distancia mínima de seguridad de 50 m desde el límite de la zona de mezcla hasta la orilla para evitar el contacto de las personas y animales terrestres con las aguas de la zona de mezcla.

I.17. Información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua lenticó

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, es necesario contar con información sobre las condiciones ambientales del vertimiento, tal como la configuración del cuerpo natural de agua. La información sobre el cuerpo natural de agua debería ser recopilada en un estudio limnológico del cuerpo receptor que permite determinar la morfometría, la batimetría, la estratificación térmica y el perfil vertical de la densidad del agua natural en el punto de vertimiento en las diferentes estaciones del año, las corrientes, y particularmente, el índice de intercambio del agua.

²² Áreas habilitadas por la Dirección General de Extracción y Producción Pesquera para Consumo Humano Directo, Ministerio de Producción, para desarrollar actividades de acuicultura y áreas donde el Ministerio de Producción ha otorgado un derecho de uso acuícola.

También las características de las aguas residuales tratadas vertidas son determinantes de la dilución inicial; por lo tanto, se deberá estimar el caudal máximo de vertimiento, la densidad del efluente, las sustancias contenidas en las aguas residuales tratadas y sus concentraciones en las condiciones más críticas.

Otras informaciones imprescindibles para la evaluación del impacto de un vertimiento a través de un emisor subacuático son la profundidad de la descarga en el cuerpo de agua, el número de orificios, la distancia entre ellos, la longitud del emisor y del difusor, la orientación del difusor y las características de diseño de los orificios, como su diámetro, e inclusive el tipo y material del difusor.

1.17.1 Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, es necesario contar con información respecto de las concentraciones de los parámetros que ya se encuentran en el cuerpo receptor y se determinan a través de la toma de muestra y análisis en un laboratorio acreditado por INDECOPI y/o el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Los parámetros que se analizan son aquellos, que estarán potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas. De forma referencial se recomienda analizar los parámetros definidos para las diferentes actividades y categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural contenidos en la Tabla N°2 del capítulo 1.2 y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, indicados en los ECA-Agua, en la categoría correspondiente.

Considerando la variabilidad estacional de las características de un cuerpo de agua lenticó, se realizará por lo menos cuatro tomas de muestra con una frecuencia trimestral en la ubicación del vertimiento proyectado en diferentes profundidades, que deben ser seleccionadas en función de la estratificación térmica del cuerpo de agua. La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor debería ser efectuada en las mismas fechas en las cuales se determina las corrientes y la estratificación térmica en el marco del estudio limnológico.

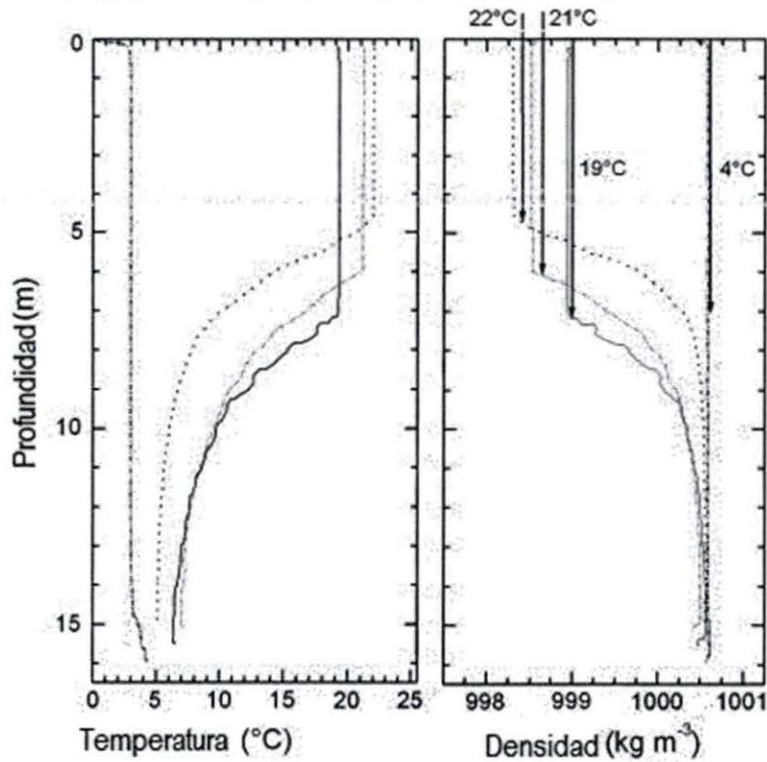
En el caso de la adecuación de un vertimiento en curso a la normatividad ambiental, el punto de toma de muestra deberá ser ubicado a fuera de la zona de influencia del vertimiento actual, es decir, en una distancia de algunos cientos de metros del punto de vertimiento en curso en dirección contraria a la dirección de las corrientes predominantes que generalmente están orientadas desde el tributario principal del lago/laguna/embalse a su salida.

1.17.2 Densidad del agua natural

Cuerpos de agua lenticos pueden mostrar una estratificación vertical de la densidad del agua que es causada por un gradiente térmico con mayores temperaturas en la superficie (=menor densidad) y menores temperaturas en el fondo (=mayor densidad).



Gráfico N°17: Curvas ejemplares de la estratificación térmica y de los perfiles de densidad en un cuerpo natural de agua lenticó en las diferentes estaciones del año.



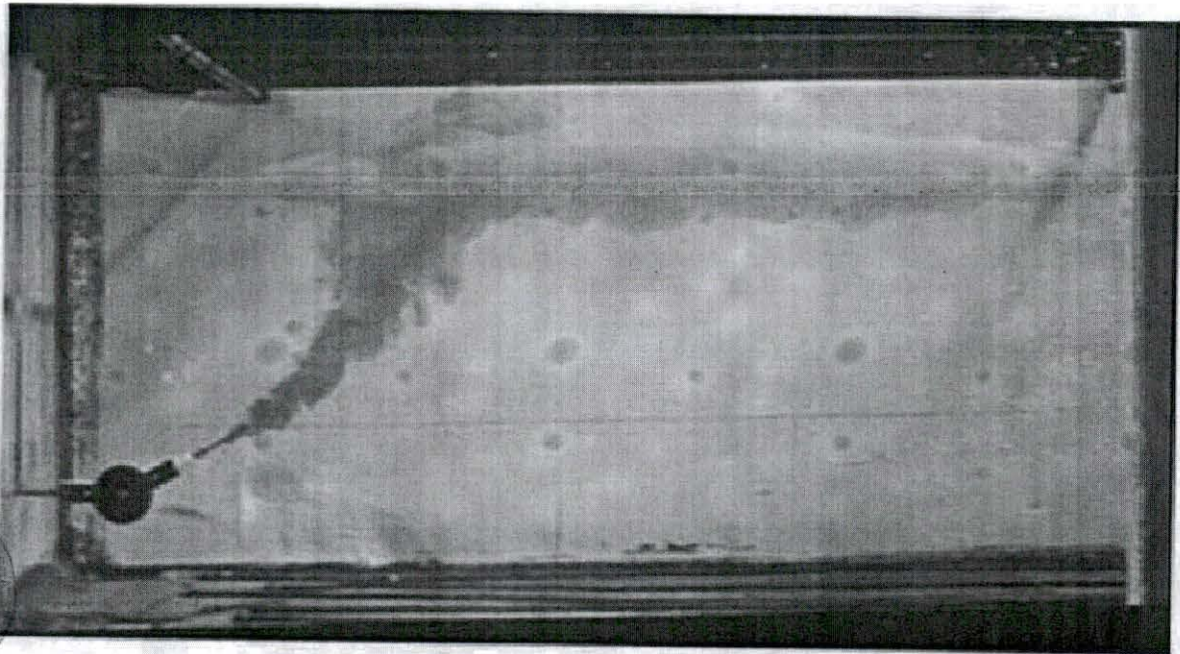
Ed

En un clima templado, como en el caso de la región costera del Perú, y en un clima tropical, como el de la región de la Selva, en el verano habrá estratificación térmica máxima y en el invierno estratificación mínima.

En los lagos y lagunas alto-andinas localizados entre 2000 y 4000 msnm, entre los cuales el lago Titicaca, la dinámica térmica se aparta considerablemente de la que presentan los sistemas en las zonas bajas del trópico, debido a la altitud y a las consecuentes condiciones climáticas imperantes. Investigaciones realizadas en algunos lagos de alta montaña han contribuido al conocimiento del régimen térmico de estos, siendo en general clasificados como oligotérmicos con circulaciones frecuentes (es decir, nunca se estratifican), por lo cual, han sido llamados polimicticos fríos (Hutchinson & Loeffler, 1956; Rodan, 1992). Entre las características adicionales de estos lagos y lagunas, se cuenta el aislamiento geográfico, temperaturas medias por debajo de 20 °C, concentraciones de oxígeno disuelto bajas (< 7mg/l), y a diferencia de los lagos de zonas bajas, son por lo general más profundos.

La variabilidad de la densidad con la profundidad tiene un efecto significativo en la dilución inicial y puede evitar que la pluma de aguas residuales tratadas vertidas alcance totalmente a la superficie provocando que los desechos queden atrapados bajo la superficie (véase la figura siguiente) y la dilución inicial sea menor que cuando el campo de aguas residuales tratadas ascienda hasta la superficie.

Gráfico N°18: Formación de una pluma emergente de aguas residuales en un cuerpo de agua natural con estratificación térmica de la densidad (instalación experimental de K.Hofer, VAW, Zürich).



Por lo tanto, en los lagos, lagunas y embalses ubicados en clima templado (costa centro y sur) o en clima trópico (selva y costa norte), se deberá determinar la estratificación de la densidad del cuerpo natural lentico. No se deberá determinar los perfiles de densidad en los lagos y lagunas alto-andinas. Sin embargo, también en los lagos y las lagunas alto-andinas, se deberá medir la temperatura en varias profundidades y en las diferentes estaciones del año.

Los perfiles de densidad y temperatura deben ser determinados en las diversas estaciones del año, considerando por lo menos cuatro tomas de muestra en el punto de vertimiento propuesto, en diferentes profundidades con un muestreador de agua profunda y medición inmediata de la temperatura y densidad con el densímetro. En alternativa a la medición directa de la densidad, se podrá medir la temperatura *in situ* y luego calcular la densidad con la siguiente ecuación que es aplicable para temperaturas entre 0 y 40°C a una presión de 1 atm (Comité Internacional des Poids et Mesures, CIPM).

$$\rho (t) = 999,974950 \cdot \left(1 - \frac{(T - 3,983035)^2 \cdot (T + 301,797)}{522528,9 \cdot (T + 69,34881)} \right)$$

donde:

$\rho (t)$ es la densidad del agua en función de la temperatura, en kg/m³.

T es la temperatura del agua en °C.

I.17.3 Determinación del índice de intercambio de agua de la laguna o lago

El índice de intercambio de agua corresponde al caudal anual medio en la salida de la laguna y lago. En el caso de un vertimiento a una bahía el índice de intercambio de agua corresponde al caudal anual medio de los ríos y quebradas tributarios a la bahía evaluada.

El caudal anual medio en la salida de la laguna y lago o de los tributarios a una bahía, puede ser determinado a base de un registro histórico de caudales o, en su defecto, mediante por lo menos cuatro mediciones del caudal realizadas en las diferentes estaciones del año hidrológico:

- Cuando se dispone de una serie histórica del caudal de la salida de la laguna o de los tributarios a una bahía de por lo menos 5 años, el índice de intercambio de agua será el valor mínimo del caudal anual medio registrado en los últimos 5 años:

$$I_{RH,crit} = Q_{anual,min}$$

donde,

$I_{RH,crit}$ es el índice de intercambio de agua crítico, en m^3/s .

$Q_{anual,min}$ el valor mínimo del caudal anual medio registrado en los últimos 5 años en la salida de la laguna o en los tributarios a una bahía, en m^3/s .

Notase que no se deberá considerar los caudales extremos debidos a la ocurrencia de fenómenos naturales extremos, como el Fenómeno El Niño²³.

- Cuando no se dispone de una serie histórica del caudal, se deberá efectuar por lo menos cuatro mediciones con una frecuencia trimestral del caudal de salida de la laguna o de los tributarios de la bahía. El promedio de las cuatro mediciones corresponde al índice de intercambio de agua crítico, corregido con un factor de seguridad (2) que toma en cuenta la inseguridad de la información basada en cuatro mediciones solamente considerando la variabilidad multianual de los caudales:

$$I_{RH,crit} = \frac{Q_{promedio}}{2}$$

I.18. Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental a largo plazo

Los vertimientos de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua lenticos conllevan al riesgo que los contaminantes contenidos en las aguas residuales tratadas se acumulen en el cuerpo de agua natural, debido a sus características ambientales específicas de corrientes bajas y el intercambio del volumen de agua muy lento.

Esto es de particular relevancia para los nutrientes (fósforo y nitrógeno) y los contaminantes persistentes, cuales metales y compuestos orgánicos persistentes, como los organoclorados e hidrocarburos aromáticos.

Una de las variables de mayor importancia para la evaluación del impacto ambiental a largo plazo de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural lentico, es el índice de intercambio de agua de la laguna o lago, es decir, el volumen de agua en el cuerpo receptor que anualmente se renueva y que corresponde al volumen de agua natural disponible para la dilución.

Para la evaluación del impacto ambiental a largo plazo de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural lentico, se deberá determinar el índice de intercambio de agua crítico del cuerpo receptor según la metodología descrita en el capítulo III.3.3 y calcular las probables concentraciones en el largo plazo de todos los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas vertidas con el simple balance de masa:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot I_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(I_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

donde:

C_0 es la concentración en cuerpo receptor en el largo plazo.

C_{RH} es la concentración máxima en el cuerpo receptor, determinada según capítulo III.3.1.

C_{vert} es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas, determinada según capítulo I.3.

$I_{RH,crit}$ es el índice de intercambio de agua crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado según capítulo III.3.3, en m^3/s .

Q_{vert} es el caudal medio anual²⁴ del vertimiento, en m^3/s .

²³ Véase D.S. 023-2009-MINAM, Art. 7 „Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares Nacional de Calidad Ambiental para Agua”.

²⁴ Para la evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua a largo plazo, no se deberá aplicar el caudal máximo de vertimiento, si no el promedio anual, dado que se evalúa los efectos acumulativos del vertimiento en un periodo de un año.

Cuando el proyecto prevé varios vertimientos al mismo cuerpo receptor, el balance de masas deberá considerar la carga contaminante total de todos los vertimientos proyectados:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot I_{RH,crit}) + (C_{vert,1} \cdot Q_{vert,1}) + \dots + (C_{vert,i} \cdot Q_{vert,i})}{(I_{RH,crit} + Q_{vert,1} + \dots + Q_{vert,i})}$$

Tal situación se reviste de importancia al considerar que aun cuando de manera individual se determine que un vertimiento no supera la capacidad de asimilación del cuerpo receptor, de manera simultánea dichos vertimientos pueden sobrepasar esta capacidad, debido a la confluencia de vertimientos, generando el incumplimiento de la normativa ambiental aplicable. En tal sentido, se evalúa el impacto de los dos o más vertimientos en un cuerpo natural de agua de forma integral, aplicando así el principio de indivisibilidad (D.S. N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley N° 27446, Artículo 3° - Principios del SEIA – Literal a).

Con la siguiente inecuación se determina el cumplimiento de los ECA-Agua:

$$C_0 \leq C_{ECA}$$

Para la evaluación de todos los parámetros contenidos potencialmente en el efluente, se elabora un cuadro que contenga la lista completa de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, la concentración calculada para cada parámetro en el cuerpo receptor en el largo plazo y el ECA-Agua correspondiente.

En el caso que este análisis muestre que la concentración en el cuerpo receptor será mayor que el ECA-Agua correspondiente, se debería realizar las debidas modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias que reduzcan el volumen y/o la carga de las aguas residuales generadas o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad. Alternativamente, se podrá también modificar el proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de los parámetros críticos.

Para determinar la carga del vertimiento admisible se puede usar la siguiente ecuación que integra la condición para el cumplimiento de los ECA-Agua con el balance de masas:

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

La carga contaminante de vertimiento deberá ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos.

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

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

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

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

La ecuación antecedente es aplicable también para determinar la concentración máxima en el efluente, que permite cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor, de los parámetros no reglamentados por el sector con un LMP. Esta concentración máxima podrá ser usada como un criterio de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.



I.19. Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental en el límite de la zona de mezcla

La evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas en un cuerpo de agua lenticó, debería comprobar que el emisor subacuático proyectado proporciona una dilución inicial mínima $-S_a-$ que es mayor que la dilución requerida $-S_{max}-$:

$$S_a \geq S_{max}$$

Si esta inecuación expresa un resultado verdadero, las concentraciones de los contaminantes contenidos en las aguas residuales tratadas en el límite de la zona de mezcla serán inferiores a los ECA-Agua.

Esta evaluación debería ser realizada considerando las condiciones más críticas: estratificación máxima de la densidad del cuerpo receptor, corriente horizontal mínima, concentraciones y caudal del efluente máximo.

La evaluación de la dilución inicial mínima $-S_a-$ proporcionada por el difusor subacuático propuesto deberá realizarse mediante el uso de los modelos numéricos descritos en el capítulo III.5.2.

La dilución requerida para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla (S_{max}) se calcula con:

$$S_{max} = \text{MAX}(S_i, S_{(i+1)}, \dots, S_{(i+n)})$$

y

$$S_i = \frac{(C_{vert,i} - C_{ECA,i})}{(C_{ECA,i} - C_{RH,i})}$$

donde,

$S_i, S_{(i+n)}$... es la dilución necesaria para respetar los ECA del parámetro i o $i+n$ respectivamente.

$i+n$... son los parámetros comprendidos en los ECA-agua y relevantes para el tipo de efluente, determinados según el capítulo I.2.

$C_{vert,i}$... es la concentración máxima del parámetro i en el efluente, determinada según capítulo I.3. o según capítulo III.4, en el caso que resulta necesario reducir la concentración en el efluente para poder cumplir con el ECA-Agua en el largo plazo.

$C_{ECA,i}$... es el ECA-Agua del parámetro i según la categoría que corresponda.

$C_{RH,i}$... es la concentración máxima del parámetro i en el cuerpo de agua natural, determinada según capítulo III.3.1.

S_{max} ... es la dilución requerida para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla, definida como el valor máximo de los factores de dilución calculados para los diferentes parámetros relevantes para el tipo de efluente.

En el caso que el diseño del difusor no proporcione una dilución inicial suficiente, es decir: $S_a < S_{max}$, se deberá reconsiderar el diseño del emisor, incrementando el número de orificios de descarga y la longitud del difusor o ampliando la longitud del emisor para lograr una mayor profundidad de descarga. Alternativamente, se podrá prever mecanismos que permiten reducir el caudal o las concentraciones del efluente considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias que reduzcan el volumen y/o la carga de las aguas residuales generadas, el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad o modificando el proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de los parámetros críticos.

En el caso que no es posible implementar un dispositivo de descarga que logre una dilución inicial mínima mayor que la dilución requerida para el cumplimiento de los ECA-Agua, se podrá aplicar la siguiente ecuación para determinar la concentración máxima admisible del vertimiento.

$$C_{vert,admi} = S_a \cdot (C_{ECA,i} - C_{RH,i}) + C_{ECA,i}$$

La ecuación antecedente es aplicable también para determinar la concentración máxima en el efluente, que permite cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor, de los parámetros no reglamentados por el sector

ANONIA NACIONAL DEL AGUA
V°B°
B. Carlos Castro Vargas
Director

ANONIA NACIONAL DEL AGUA
V°B°
Ing. Edwin Ventura Ch.
Coordinador EEIGA


con un LMP. Esta concentración máxima podrá ser usada como un criterio de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el caso que el parámetro evaluado se encuentre en el cuerpo natural de agua en concentraciones superiores al Estándar de Calidad Ambiental correspondiente, es decir $C_{RH} \geq C_{ECA}$, su concentración en las aguas residuales tratadas vertidas deberá ser igual o menor que la concentración en el cuerpo receptor²⁵:

$$C_{vert} \leq C_{RH}$$


En estas condiciones, el vertimiento no causará un incremento de la concentración en el cuerpo receptor y no creará un impacto adicional en el cuerpo natural de agua afectado por otras fuentes de contaminación.

En el caso se pueda demostrar que un cuerpo de agua presente parámetros en concentraciones superiores a los ECA para Agua por sus condiciones naturales, este cuerpo de agua podrá ser exceptuado de la aplicación de determinados ECA-Agua (artículo 7 del D.S. 023-2009-MINAM). Administrativamente la exceptuación es realizada mediante la aprobación por la ANA del estudio técnico que sustente la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad de las aguas naturales. Asimismo, la ANA deberá comunicar al MINAM los cuerpos de agua y los parámetros de excepción.



I.19.1 Modelos numéricos para la determinación de la dilución inicial y de la extensión máxima de la zona de mezcla

En la actualidad existen diferentes modelos numéricos que simulan los complejos procesos hidrodinámicos que ocurren en la zona de mezcla; su solución es realizada mediante paquetes de software especializado, que además permiten el ingreso de los datos a través de interfaz gráfica y la representación de los resultados de la simulación en tablas, gráficos e imágenes en 2D y 3D.



A tal propósito, se recomienda los modelos de simulación auspiciados por el Centro de Modelamiento para la Evaluación de la Exposición (Center for Exposure Assessment Modeling – CEAM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), el cual distribuye programas (*software*) aptos para determinar la dilución inicial de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores naturales y la extensión de la zona de mezcla inicial. Entre estos modelos de simulación, se cuenta con el software libre Visual Plumes²⁶ (USEPA, 2003) y el software CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System), el cual se basa en los principios, criterios y metodologías establecidas en el estudio "Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments" de Norman H. Brooks y el estudio "Dilution Models for Effluent Discharges" de D.J. Baumgartner, W.E. Frick y P.J. W. Roberts. También puede hacerse uso de otro modelo aplicable para la simulación de los procesos hidrodinámicos en el campo cercano de un vertimiento de aguas residuales.

Los resultados del modelo deberán comprobar:

- 1) Que la zona de mezcla en su extensión máxima no se acerque a menos de 50 m de las zonas de uso de agua, como la toma de agua para uso poblacional o agrícola, áreas de actividades recreativas de contacto primario, áreas de acuicultura o a la orilla. En caso contrario, se deberá reubicar el dispositivo de descarga. Para la simulación de la extensión máxima de la zona de mezcla se supone estratificación mínima de la densidad del cuerpo receptor, corriente horizontal máxima y caudal máximo del efluente.
- 2) Que el diseño del difusor subacuático proporciona una dilución inicial mínima $-S_a-$ que es mayor que la dilución requerida $-S_{max}-$ para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla:

²⁵ Véase Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM "Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua", artículo 8, numeral 8.5: "En caso que, la calidad ambiental de un cuerpo de agua supere uno o más parámetros de los ECA para agua, la autoridad competente sólo aprobará los instrumentos de gestión ambiental de los proyectos que se desarrollen en dicha cuenca o zona marino costera, cuando se aseguren que el vertimiento, no contenga los referidos parámetros del ECA superado."

²⁶ Visual Plumes está disponible con licencia libre en

<http://www2.epa.gov/exposure-assessment-models/visual-plumes>

$$S_a \geq S_{max}$$

Para el cálculo de la dilución mínima se supone estratificación máxima de la densidad del cuerpo receptor, corriente horizontal mínima y caudal máximo del efluente.

Para calcular la probable concentración máxima en el límite de la zona de mezcla - $C_{LZDM,i}$ - se podrá usar la siguiente ecuación:

$$C_{LZDM,i} = \frac{(C_{vert,i} + S_a \cdot C_{RH,i})}{(S_a + 1)}$$

donde,

S_a ... es la dilución inicial mínima proporcionada por el difusor subacuático propuesto.

$C_{vert,i}$... es la concentración máxima del parámetro i en el efluente, determinada según capítulo I.3. o según capítulo III.4, en el caso que resulta necesario reducir la concentración en el efluente para poder cumplir con el ECA-Agua en el largo plazo.

$C_{RH,i}$... es la concentración máxima del parámetro i en el cuerpo de agua natural, determinada según capítulo III.3.1.

i ... representa los parámetros comprendidos en los ECA-agua y relevantes para el tipo de efluente, determinados según el capítulo I.2.

La probable concentración máxima en el límite de la zona de mezcla deberá ser inferior al ECA-Agua correspondiente:

$$C_{LZDM,i} \leq C_{ECA,i}$$



I.19.2 Emisores subacuáticos con difusores de orificios múltiples

En el caso que el diseño del difusor subacuático no proporciona una dilución inicial suficiente, es decir $S_a < S_{max}$, se podrá optar para un emisor con un difusor de orificios múltiples, ya que la dispersión inicial es más alta que para la descarga a través de un solo orificio.

El número de orificios depende de su diámetro y es calculado de la condición que el área total de los orificios del difusor debería ser inferior al área de la tubería del difusor, para garantizar el funcionamiento hidráulico del difusor; si el área total de los orificios excede el área de la tubería, la velocidad media de la descarga por los orificios sería menor que la velocidad de flujo de la tubería, esto es, el flujo tendría que desacelerarse antes de la descarga. Físicamente esto no es posible y, por lo tanto, algunos orificios no descargarán a su máxima capacidad, o no lo harán, anulando de esta manera el propósito del difusor. Brooks (1970) ha propuesto que para asegurar que los orificios descargarán plenamente se debe mantener un número de Froude mayor 1; en la práctica esto corresponde a una relación entre el área de la tubería y el área total de los orificios de 1 a 0,9. Frecuentemente se encuentran difusores diseñados con una relación de 1:0,6 hasta 1:0,75.

La longitud del difusor depende del número de orificios y de su separación, que está en función de la superposición de las plumas de aguas residuales singulares. Si los orificios se encuentran en distancias muy grandes, la pluma singular emerge y se comporta como una pluma individual. Cuando la distancia entre los orificios es menor, las plumas se superponen y la dilución disminuye. Eventualmente, cuando las plumas están muy juntas, se superponen rápidamente y se comportan como si la descarga fuera realizada desde una ranura; esto es conocido como una fuente lineal. Para determinar la distancia entre los orificios óptima se aplica un proceso iterativo empleando un modelo numérico: inicialmente se selecciona una distancia grande y posteriormente se reduce la distancia gradualmente, hasta que la dilución inicial se aproxima a la dilución requerida, lo que generalmente resultará en un distancia entre $H \geq S \geq H/3$ (donde H es la profundidad media de descarga y S es la distancia entre los orificios). Esta es la distancia óptima donde se logra la dilución requerida con una longitud del difusor mínima.

Asimismo, para lograr una dilución inicial máxima reduciendo la extensión de la zona de mezcla a un mínimo, el eje del difusor debería ser colocado en perpendicular a la dirección de la corriente predominante, que generalmente está orientada desde el tributario principal del lago/laguna/embalse a su salida.

I.20. Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua

Con referencia al programa de control de los impactos del vertimiento en un cuerpo natural de agua léntico, cabe indicar que los emisores subacuáticos fueron diseñados específicamente para ser aplicados en el ámbito marino, en donde se realizan las descargas de aguas residuales teniendo en cuenta la profundidad del emisor y difusor y la velocidad de la corriente marina, los cuales aportan en la dilución y dispersión del contaminante. En ese sentido, para el caso de lagos y lagunas el programa de control propuesto deberá permitir verificar la dilución y dispersión de las descargas determinadas en el marco del Instrumento de Gestión Ambiental.

A continuación, se describen los criterios generales para establecer el programa de control de los impactos del vertimiento en los cuerpos naturales de agua, el cual comprende la determinación de las cargas contaminantes en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial:

- La ubicación del punto de control de las cargas de las aguas residuales tratadas es seleccionada de modo que permita la caracterización del efluente vertido y la toma de muestra en condiciones seguras. De ser necesario, se preverá la instalación de un pozo entre la salida de la planta de tratamiento y el punto de vertido, que permita el fácil acceso y la toma de muestras de aguas residuales tratadas.
- Los puntos de control de cumplimiento de los ECA-Agua, estarán ubicados en el límite de la zona de mezcla en el cuerpo receptor, determinada mediante la modelación numérica en las cuatro direcciones.
- Cuando el modelo numérico comprueba que la pluma alcanza la superficie hasta antes del límite de la zona de mezcla, las muestras serán tomadas en la superficie solamente; en caso contrario, se deberá prever muestras adicionales en el fondo a 50 cm del sustrato y, en caso de puntos con más de 10 metros de profundidad, también a la mitad de la columna de agua (H/2).
- En el caso del vertimiento de aguas residuales tratadas de alta temperatura, como las aguas de refrigeración de las plantas termoeléctricas, se deberá establecer un punto adicional a fuera del área de influencia del vertimiento (aguas arriba y en una distancia de aproximadamente 3 veces el diámetro de la zona de mezcla) donde se determinará la temperatura del agua en condiciones naturales. El valor determinado será comparado con las mediciones realizadas en el límite de la zona de mezcla ($\Delta_{Temp} \leq 3^{\circ}C$).
- Los parámetros de control en el cuerpo receptor comprenden los parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura), los parámetros recomendados para las diferentes actividades y categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural en la Tabla N° 2, capítulo I.2, y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua, en la categoría correspondiente.
- Los parámetros de control en el efluente deberían ser coherentes, tratando en lo posible que sean los mismos que en el cuerpo receptor. Asimismo, debe considerarse los parámetros para los cuales el sector correspondiente haya definido un Límite Máximo Permisible.
- Para poder determinar la carga contaminante en el efluente vertido al cuerpo natural de agua, se deberá determinar en cada toma de muestra el caudal de las aguas residuales tratadas vertidas mediante el dispositivo de medición instalado²⁷ o en su defecto mediante una metodología manual (correntómetro, balde o flotador). La ubicación del caudalímetro o del dispositivo de medición podrá ser seleccionada por el administrado en función de consideraciones técnicas y de accesibilidad; el único requisito por

²⁷ El Artículo 136° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos sobre la Medición y control de vertimientos, establece que es responsabilidad del administrado instalar sistemas de medición de caudales de agua residual tratada y reportar los resultados de la medición.

parte de la autoridad es que la ubicación seleccionada permita la medición del caudal total de las aguas residuales tratadas vertidas al cuerpo receptor.

- Cabe precisar que la toma muestra de las aguas residuales a caracterizar (tratadas o no tratadas) debería realizarse en conformidad con los Protocolos de Monitoreo de Efluentes publicados por el sector correspondiente; y, los puntos de control en el cuerpo receptor serán muestreados según R.J. N°010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales".
- La frecuencia de control de las cargas contaminantes en el efluente y de la calidad del cuerpo natural de agua será determinada en función del volumen anual de las aguas residuales tratadas vertidas:

Volumen anual (m ³)	N° de monitoreos por año	Frecuencia de control*
< 300 000	1	Anual
300 000-3 000 000	2	Semestral
>3 000 000-9 000 000	4	Trimestral
> 9 000 000	12	Mensual

(*) En el caso de vertimientos realizados por actividades estacionales, el número total de los monitoreos indicados en la tabla anterior deberán ser realizados en el periodo de producción con una frecuencia regular (Ejemplo: Actividad con 4 meses de producción y 400 000 m³ de volumen anual de aguas residuales => 2 monitoreos con frecuencia bimensual a realizarse en el periodo de producción).

En el caso que las normas ambientales sectoriales²⁸ establecen una frecuencia de control más alta, el programa de control deberá ser conforme a las mismas.

- Cabe precisar, que la toma de muestra del cuerpo natural de agua y del agua residual, debería ser realizada en la misma fecha.
- De acuerdo a la magnitud del proyecto, la estabilidad del proceso de tratamiento (tecnologías de tratamiento químico-físicos) y la sensibilidad ambiental y social del cuerpo receptor (áreas naturales protegidas o usos poblacionales del recurso hídrico), se recomienda prever estaciones de control automático de los parámetros pH, conductividad y turbiedad, reporte en tiempo real y mecanismos de alerta temprana cuando ocurran variaciones anómalas de los parámetros monitoreados. Las estaciones automáticas, que monitorean en continuo los parámetros básicos, son herramientas de gestión ambiental muy útiles para los administrados, dado que les permite identificar en tiempo real potenciales fallas de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales e intervenir en plazos muy cortos. Esta intervención rápida puede evitar o reducir significativamente los impactos ambientales ocasionados accidentalmente y los consecuentes daños en el ambiente y/o en la salud de las personas, lo que es de particular relevancia en ecosistemas sensibles y cuando existen usos poblacionales del recurso hídrico. Asimismo, el uso de estaciones automáticas en conjunto con los mecanismos de intervención rápida, pueden reducir significativamente el riesgo de la empresa frente a fallas del sistema de tratamiento de aguas residuales y los consecuentes costos por la remediación ambiental, denuncias o conflictos socio-ambientales. Por lo tanto, se recomienda que cada proyecto evalúe la implementación de estaciones

²⁸ Véase:

- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACIÓN Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES (2000) "Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI, aprueba el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos" del sector Industria.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2016) "Resolución Ministerial N° 061-2016-PRODUCE, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto".
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2013) "Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR".
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2010) "Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"; que dispone que hasta la entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se deberá aplicar la frecuencia de monitoreo establecida en el art. 7° de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1996).

automáticas en función de sus costos y sus beneficios en términos de la reducción del riesgo de ocasionar accidentalmente impactos ambientales y de salud.

I.21. Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua

Los titulares de actividades que cuentan con un Instrumento de Gestión Ambiental aprobado por la autoridad competente y que requieren adecuar sus Planes de Manejo Ambiental a los ECA-Agua en conformidad a lo establecido en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, podrán aplicar el presente Lineamiento según el siguiente detalle:

1. Recopilación de todos los datos disponibles del control del vertimiento y evaluación de las concentraciones medidas en el cuerpo receptor que cumplan con los ECA-Agua de la categoría correspondiente. En el caso, que esta evaluación demuestre que el vertimiento no causa ningún incumplimiento de los ECA-Agua asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad (véase tabla 2, capítulo I.2), no se deberá realizar evaluaciones adicionales.

2. En el caso, que se haya encontrado incumplimientos de los ECA-Agua se deberá analizar si los parámetros críticos ya exceden los ECA-Agua en los tributarios del cuerpo de agua lentic, utilizando los datos de los monitoreos realizados anteriormente o recopilando los datos mediante la toma de muestra y el análisis en laboratorio acreditado por INDECOPI y/o el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). En el caso este análisis confirme que los tributarios del cuerpo natural de agua lentic ya se encuentran contaminados, se podrá proponer una de las siguientes medidas:

2.1 En el caso se pueda demostrar que el cuerpo de agua presente parámetros en concentraciones superiores a los ECA-Agua debido a las condiciones naturales, como por ejemplo cuando en las cuencas hidrográficas de los tributarios no existan fuentes antropogénicas del parámetro crítico, se propondrá que este cuerpo de agua sea exceptuado de la aplicación del ECA-Agua específico haciendo referencia al artículo 7 del D.S. 023-2009-MINAM. Considérese que la excepción debería ser sustentada mediante un estudio técnico que demuestre la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad de las aguas naturales, el cual deberá ser aprobado por la ANA.

2.2 Cuando la contaminación no se origina de fuentes naturales, se deberá proyectar las medidas que permitan reducir la concentración del parámetro crítico en el efluente a niveles iguales o menores de la concentración en el cuerpo receptor²⁹:

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

Estas medidas abarcan modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias, o al sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de las sustancias críticas.

3. En el caso que los incumplimientos de los ECA-Agua fueron observados en los puntos de control próximos al vertimiento solamente, se deberá suponer una de las tres siguientes condiciones que deberían ser comprobadas con las metodologías propuestas en el presente Lineamiento:

3.1 La carga contaminante del vertimiento de aguas residuales tratadas excede la capacidad de asimilación del cuerpo receptor.

Se determina el Índice de Intercambio del agua de la laguna o lago según lo indicado en el capítulo III.3.3 y posteriormente se calcula la carga contaminante del vertimiento admisible aplicando el balance de masas descrito en el capítulo III.4.1:

$$(C_{\text{vert}} \cdot Q_{\text{vert}}) \leq I_{\text{RH,crit}} \cdot (C_{\text{ECA}} - C_{\text{RH}}) + Q_{\text{vert}} \cdot C_{\text{ECA}}$$

²⁹ Véase el artículo 8, inciso 8.5 del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM - Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: "En caso que, la calidad ambiental de un cuerpo de agua supere uno o más parámetros de los ECA para agua, la autoridad competente sólo aprobará los instrumentos de gestión ambiental de los proyectos que se desarrollen en dicha cuenca o zona marino costera, cuando se aseguren que el vertimiento, no contenga los referidos parámetros del ECA superado."

Nótese que este análisis deberá ser realizado solamente para aquellos parámetros de los cuales se ha encontrado incumplimientos de los ECA-Agua correspondientes.

En el caso, que la actividad genera dos o más vertimientos a un mismo cuerpo receptor, en la determinación de la carga contaminante máxima se deberá considerar el aporte de todos los vertimientos de aguas residuales tratadas.

Si la carga contaminante máxima del vertimiento supera la carga contaminante admisible, esta deberá ser reducida hasta el nivel de la carga admisible, disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos, previendo las respectivas modificaciones al plan de manejo de aguas, considerando por ejemplo la implementación de tecnologías limpias o el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales en la actividad, o incrementando la eficiencia de remoción de las sustancias críticas del sistema de tratamiento de aguas residuales.

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

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

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

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

3.2 Los puntos de control de la calidad del cuerpo receptor están ubicados al interior de la zona de mezcla y no son válido para controlar el cumplimiento de los ECA-Agua³⁰.

Se determina la extensión de la zona de mezcla, recopilando la información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento en el cuerpo receptor detallada en el capítulo III.3 y elaborando posteriormente uno de los modelos numéricos indicados en el capítulo III.5.2, y se comprueba que los puntos de control estén ubicados fuera de la zona de mezcla. En el caso contrario, se propone la reubicación de los puntos de control establecidos.

3.3 La dilución inicial mínima $-S_a-$ proporcionada por el dispositivo de descarga actual es menor que la dilución requerida $-S_{\text{max}}-$:

$$S_a \leq S_{\text{max}}$$

Donde S_a y S_{max} podrán ser determinados según lo indicado en el capítulo III.5. Nótese que S_{max} deberá ser determinado solamente para aquellos parámetros de los cuales se ha encontrado incumplimientos de los ECA-Agua correspondientes.

En el caso la evaluación confirma que el actual emisor no proporcione la dilución inicial requerida para el cumplimiento del ECA-Agua, se deberá reconsiderar el diseño del emisor, incrementando el número de orificios de descarga y la longitud del difusor o ampliando la longitud del emisor para lograr una mayor profundidad de descarga.



³⁰ Véase el artículo 5 del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM - Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: "En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla..."



IV. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN UN CUERPO NATURAL DE AGUA MARINO- COSTERO



ÍNDICE DE LA PARTE IV

IV.1. La zona de mezcla en cuerpos de agua marino costeros	53
IV.1.1 Vertimiento de aguas residuales tratadas de menor densidad de las aguas naturales marinas..	53
IV.1.1.1 Vertimiento en la superficie del cuerpo de agua marino	53
IV.1.1.2 Vertimiento a través de un emisor submarino	54
IV.1.2 Vertimiento de aguas residuales tratadas de igual densidad de las aguas naturales marinas.....	55
IV.1.3 Vertimiento de aguas residuales tratadas de mayor densidad de las aguas naturales marinas ..	56
IV.1.3.1 Vertimiento en la superficie del cuerpo de agua marino	57
IV.1.3.2 Vertimiento a través de emisor submarino	58
IV.1.4 Emisores con difusores de orificios múltiples	59
IV.1.5 Extensión máxima de la zona de mezcla	59
IV.2. Información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua marino-costero.....	60
IV.2.1 Corrientes marinas	61
IV.2.2 Densidad del agua natural marina.....	61
IV.2.3 Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua	64
IV.3. Evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua	64
IV.3.1 Determinación de la dilución inicial requerida (S_{max})	65
IV.3.1.1 Determinación de la dilución inicial requerida para el vertimiento de salmueras.....	66
IV.3.2 Determinación de la dilución inicial mínima (S_a).....	67
IV.3.2.1 Modelos numéricos para la determinación de la extensión de la zona de mezcla y de la dilución inicial.....	67
IV.3.2.2 Metodologías simplificadas para la determinación de la dilución inicial	68
IV.4. Evaluación del impacto de vertimientos con carga de patógenos.....	70
IV.4.1 Determinación del tiempo de transporte.....	71
IV.4.2 Determinación del tiempo de residencia mínimamente requerido.....	72
IV.4.3 Determinación de la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes	73
IV.4.4 Determinación de la densidad de coliformes termotolerantes en el límite de la zona sensible....	75
IV.5. Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua.....	75
IV.6. Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua	77



I.22. La zona de mezcla en cuerpos de agua marino costeros

La zona de mezcla en un cuerpo natural de agua marino-costero, es aquel volumen de agua donde ocurre la dilución inicial del efluente con las aguas naturales del cuerpo receptor, inducido por el impulso de la descarga, la diferencia de densidad entre las aguas residuales tratadas y el agua salada y los efectos de dispersión horizontal generados por las corrientes marinas. Por definición, la zona de mezcla es aquella en donde se logra la dilución inicial del vertimiento en el cuerpo de agua, sin considerar otros factores como la sedimentación, procesos químicos o microbiológicos que eliminan o transforman las sustancias vertidas, ni el decaimiento bacterial. La dilución inicial es generada por tres fenómenos:

- 1) mezcla causada por el impulso de las aguas residuales tratadas al salir del dispositivo de descarga;
- 2) fuerza ascensional causada por la diferencia de densidad entre las aguas residuales tratadas y las aguas del cuerpo receptor (diferencias en temperatura y salinidad), que hace que el campo de aguas residuales tratadas ascienda en la columna de agua extendiéndose en el proceso y, por lo tanto, mezclándose con el agua del cuerpo receptor; y,
- 3) el efecto de la corriente que causa una mezcla lateral en el campo ascendente de las aguas residuales tratadas.

Considerando que las características de las aguas residuales vertidas, el tipo de dispositivo de descarga y las condiciones ambientales determinan la forma y extensión de la zona de mezcla, en los siguientes capítulos se discute los efectos de la densidad de las aguas residuales tratadas, las condiciones de estratificación de densidad del cuerpo natural de agua, la ubicación del dispositivo de descarga (en superficie o submarino) y el tipo de difusor (de orificio único o múltiple).

I.22.1 Vertimiento de aguas residuales tratadas de menor densidad de las aguas naturales marinas

Las aguas residuales de menor densidad de las aguas naturales son entre otros:

- Aguas residuales tratadas domésticas – municipales.
- Aguas residuales tratadas industriales generadas en el uso de aguas dulces.

Asimismo, las siguientes aguas pueden presentar una menor densidad de las aguas naturales marinas debido a su elevada temperatura:

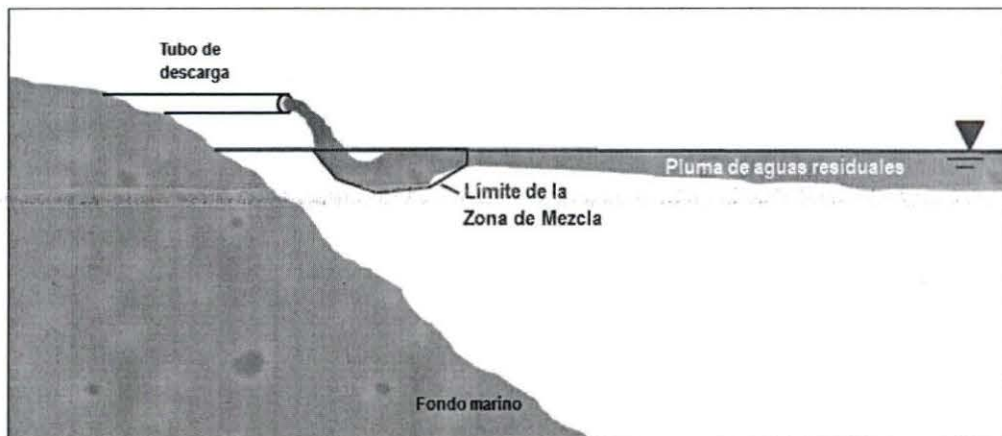
- Aguas de refrigeración de plantas termoeléctricas u otros procesos industriales³¹.
- Salmueras de los procesos de desalinización de agua marina mediante la tecnología de destilación multi-etapa (multi-stage flash distillation - MFS).

I.22.1.1 *Vertimiento en la superficie del cuerpo de agua marino*

En el caso de vertimientos en la superficie de los cuerpos naturales marino-costeros, como en orilla de playa, la dilución inicial es generada por la mezcla causada por el impulso de las aguas residuales tratadas al salir del dispositivo de descarga solamente. Por lo tanto, esta tecnología de disposición final puede alcanzar una baja dilución de 1:3 hasta 1:10, lo que en muchos casos obligará a un mayor grado de tratamiento de las aguas residuales para poder cumplir los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla.

³¹ Notase que las aguas de refrigeración no serán consideradas aguas residuales, en tanto no entran en contacto con la materia prima utilizada en el proceso productivo ni ninguna otra sustancia o material contaminante que altere sus características originales, no supere los 35° C y que demande de un tratamiento específico para su disposición. Sin embargo, las metodologías descritas en los siguientes capítulos pueden ser aplicadas para la evaluación ambiental de su descarga en el marco del Instrumento de Gestión Ambiental, permitiendo la simulación del incremento de la temperatura en el límite de la zona de mezcla que no debería ser mayor de 3°C con relación a la temperatura natural del agua.

Gráfico N°19: Zona de Mezcla de un vertimiento de aguas residuales de menor densidad que el agua de mar en la superficie de un cuerpo natural de agua marino-costera.



VºBº
 Bto. Juan Carlos Castro Vargas
 Director
 Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos

1.22.1.2 Vertimiento a través de un emisor submarino

A lo contrario del vertimiento en la superficie del cuerpo de agua, las descargas mediante emisores submarinos permiten alcanzar diluciones muy elevadas (aprox. 1:100 para aguas residuales de menor densidad que el agua de mar), asegurando el cumplimiento de los ECA-Agua, y alejan los vertimientos de orilla de playa, donde podrían generarse impactos en la calidad sanitaria o estética de las aguas naturales. La decisión sobre el tipo de dispositivo de descarga se deberá tomar considerando los costos y aspectos operativos de las dos alternativas. Sin embargo, la evaluación económica en la mayoría de los casos dará preferencia al emisor submarino, que frecuentemente será menos costoso que un mayor grado de tratamiento debido principalmente a su bajo costo operativo.

La dilución inicial se produce en primer lugar por la fuerza ascensional causada por la diferencia de densidad entre las aguas residuales tratadas y las aguas del cuerpo receptor. En el caso de aguas residuales generadas por el uso de aguas dulces como por ejemplo las aguas residuales tratadas doméstico – municipales, la diferencia de densidad $-\Delta\rho-$ está en el orden de 0,0263 kg/L (valor normal de la densidad de aguas naturales marinas aprox. 1,0258 kg/L; valor normal de la densidad de aguas residuales tratadas doméstica-municipales aprox. 0,9995 kg/L), originando una fuerte aceleración vertical ascendente de las aguas residuales vertidas.

El campo de las aguas residuales se extiende en el ascenso en la columna de agua y, por lo tanto, se mezcla con agua del cuerpo receptor. El punto de dilución inicial máxima se obtendrá en la superficie o en el punto de altura máxima del ascenso del campo de aguas residuales tratadas en un ambiente estratificado (punto de emergencia del efluente). En los siguientes gráficos se puede ver el comportamiento de este tipo de aguas residuales tratadas en un cuerpo de agua no estratificado (arriba) y estratificado (abajo).

VºBº
 Ing. Edwin Ventura Ch.
 Coordinador
 EPIGA
 Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos

EC

Gráfico N°20: Zona de Mezcla de un vertimiento de aguas residuales de menor densidad que el agua de mar mediante emisor subacuático a un cuerpo natural de agua marino-costera sin estratificación de la densidad.

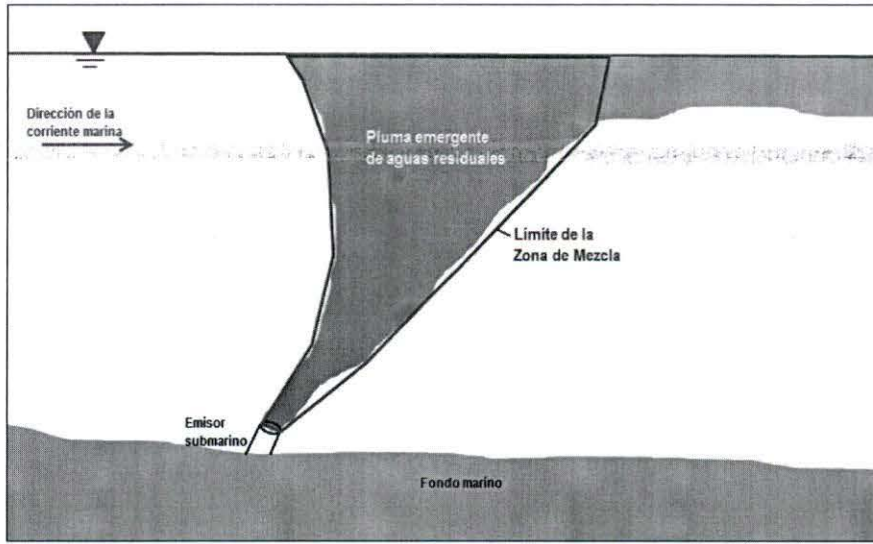
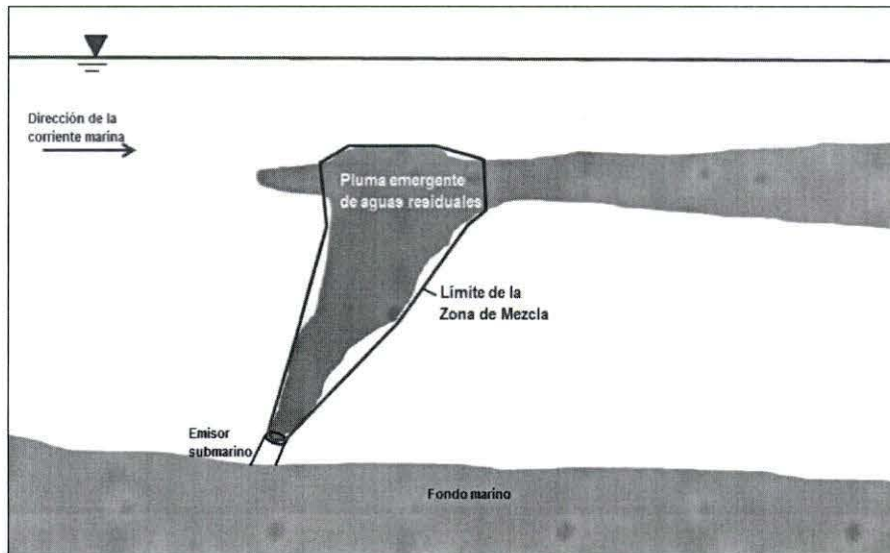


Gráfico N°21: Zona de Mezcla de un vertimiento de aguas residuales de menor densidad que el agua de mar mediante emisor subacuático a un cuerpo natural de agua marino-costera con estratificación de la densidad.



1.22.2 Vertimiento de aguas residuales tratadas de igual densidad de las aguas naturales marinas

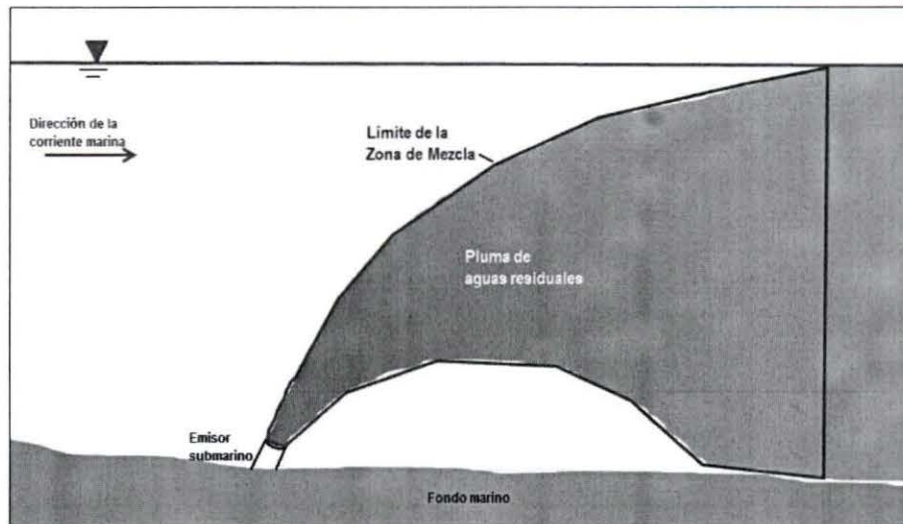
Las aguas residuales generadas en el uso de aguas saladas como por ejemplo las aguas residuales de la industria de aceites y harina de pescado³² tienen la misma o ligeramente menor densidad de las aguas

³² Las aguas residuales tratadas de la industria de harina y aceite de pescado tienen una alta variabilidad de la carga contaminante, temperatura y densidad, dado que comprenden aguas residuales generadas en diferentes procesos. Las aguas residuales de igual densidad que la del agua de mar son: agua de bombeo y agua de limpieza de la planta, equipos y sistemas de tratamiento, cuando para tal fin se usa agua de mar. Las aguas de menor densidad son: las aguas de la columna barométrica de la planta evaporadora, el condensado resultado de la evaporación del agua de cola, los cuales tienen una temperatura mayor que el agua natural, y el agua de limpieza, cuando para tal fin se usa agua dulce. Por lo tanto emisores submarinos de la industria de harina y aceite de pescado deben ser evaluados para un efluente de igual densidad que el agua de mar y un efluente de menor densidad. Cabe precisar, que en la industria pesquera moderna innovada, el agua de cola resultante del proceso de filtración y prensado de la materia prima no

naturales marinas. Cuando estas aguas residuales tratadas son vertidas al mar a través de un emisor submarino, la dilución inicial únicamente es determinada por la mezcla causada por el impulso de las aguas residuales al salir del dispositivo de descarga y el efecto de la corriente que causa una mezcla lateral en el campo de dilución inicial.

Cuando aguas residuales tratadas de igual densidad que las aguas naturales son vertidas a un ambiente no estratificado y con significativas corrientes horizontales, se expanden por la turbulencia generada por el impulso de descarga, siendo arrastradas por el corriente natural donde se mezclan con las aguas naturales por procesos hidrodinámicos y de dispersión.

Gráfico N°22: Zona de Mezcla de un vertimiento de aguas residuales de igual densidad que el agua de mar mediante emisor subacuático a un cuerpo natural de agua marino-costera sin estratificación de la densidad.



VºBº
D. Juan Carlos Castro Vargas
Director
Dirección de Gestión de los Recursos Hídricos

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
VºBº
Ing. Edwin Ventura Ch.
Coordinador EEIGA
Dirección de Gestión de los Recursos Hídricos

EE

Este proceso de mezcla continúa hasta que la pluma cubra toda la columna de agua; en este punto se habrá logrado la mezcla completa. El límite de la zona de mezcla corresponde a aquel punto donde la pluma de aguas residuales tratadas ascenderá hasta la superficie cubriendo toda la columna vertical de agua.

Para el caso de vertimientos de aguas residuales de la industria pesquera de consumo humano indirecto, el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", aprobado con R.J. N°010-2016-ANA establece que el muestreo del cuerpo receptor deberá realizarse a 200 metros del final del emisor siguiendo la dirección de la corriente prevaleciente, entre otros puntos. Por lo tanto, en la evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua se deberá considerar una extensión máxima de la zona de mezcla de 200 metros del final del emisor.

1.22.3 Vertimiento de aguas residuales tratadas de mayor densidad de las aguas naturales marinas

Las aguas residuales tratadas de mayor densidad de las aguas naturales son entre otros:

- Salmueras de los procesos de desalinización de agua marina mediante la tecnología de osmosis inversa.
- Agua de formación generada en la explotación de petróleo o gas.
- Aguas residuales de la industria de sales minerales.

es vertida al mar, dado que se recupera las proteínas contenidas en el agua de cola mediante la evaporación, incrementando la eficiencia de la planta procesadora, mejorando su rentabilidad y reduciendo el impacto ambiental.

En este contexto, el tipo de aguas residuales de mayor volumen son las salmueras de los procesos de desalinización de agua marina mediante la tecnología de osmosis inversa, que en lo siguiente se discuten en mayor detalle.

Las plantas desalinizadoras de agua marina con tecnología de osmosis inversa, trabajan a tasas de rendimiento de 40% hasta 50%, es decir, entre el 50-60% de las aguas tomadas son de rechazo. Las aguas de salmuera no tienen concentraciones significativas de sustancias contaminantes pero presentan elevada salinidad. Valores característicos de la salinidad están entre 65 y 85 g/L, aproximadamente el doble de la salinidad del agua de mar; que la hacen más densa que el agua natural. La temperatura de la salmuera de las plantas de osmosis inversa es aproximadamente igual que la del agua marina, contrario a las salmueras de plantas desalinizadoras con destilación.

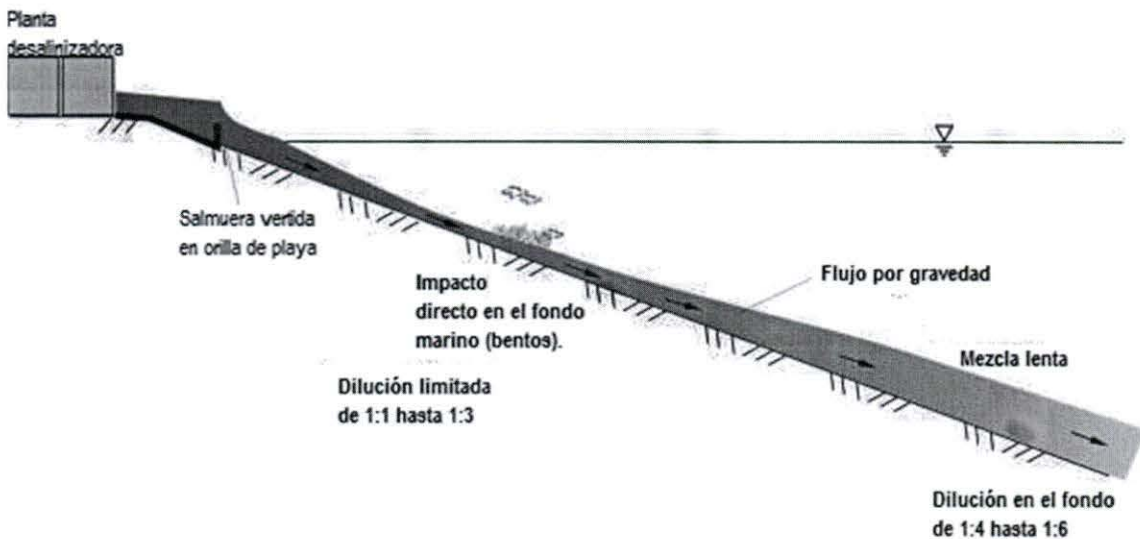
Dado los grandes volúmenes de salmuera generada en el proceso, la única disposición final técnica y económicamente viable es su vertimiento al cuerpo natural de agua marina. Aunque la alta salinidad de las aguas vertidas puede afectar el medio ambiente acuático, un diseño adecuado del dispositivo de descarga puede garantizar altos niveles de dilución inicial en la proximidad de la descarga reduciendo los impactos ambientales a un mínimo.

Otros impactos ambientales pueden generarse, cuando las aguas de lavado de los filtros, que contienen altas concentraciones de sólidos suspendidos, son vertidas al mar, donde los sólidos sedimentan en el fondo marino, afectando el libre desarrollo del bentos. Por lo tanto, se debería reducir la materia sedimentable antes de su descarga hasta las concentraciones establecidas en el Límite Máximo Permissible correspondiente. Las soluciones de limpieza aplicadas a las membranas, que contienen detergentes, ácidos orgánicos, oxidantes y biocidas tales como el formaldehído, deben ser tratadas, neutralizadas y decoloradas antes de su disposición final, la cual generalmente se realiza mediante su recolección en estanques, neutralización del pH y su posterior vertimiento a una red de alcantarillado municipal o dosificación muy lenta a la salmuera dispuesta en el mar.

1.22.3.1 Vertimiento en la superficie del cuerpo de agua marino

Cuando se vierten aguas residuales de mayor densidad de las aguas naturales marinas en la orilla de playa, éstas forman una corriente submarina sobre el fondo marino en dirección de la pendiente máxima, como se puede apreciar en la figura siguiente.

Gráfico N°23: Formación de una pluma de salmuera vertida en la orilla de playa a un cuerpo de agua natural marino.



EE

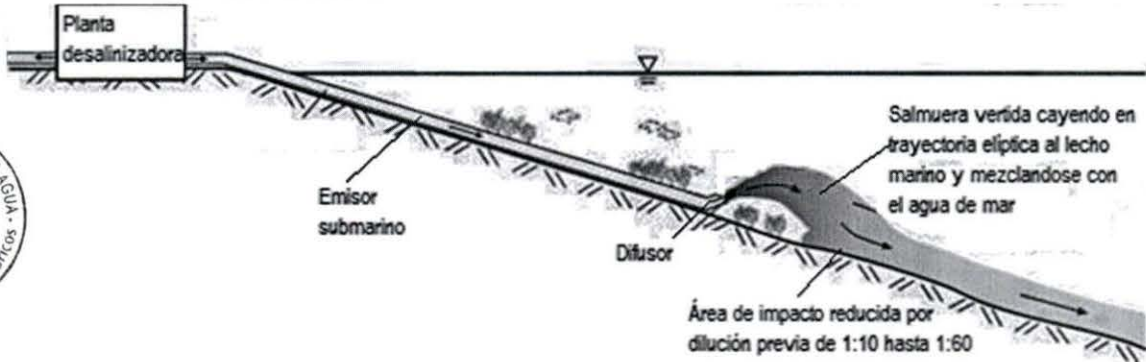
Debido a las bajas velocidades de flujo, se establecen condiciones hidrodinámicas laminares y en consecuencia la dilución con el agua de mar es mínima (1:1 hasta 1:3). Por lo tanto, se forman extensas capas de aguas de alta salinidad en el fondo marino, que impactan los ecosistemas bentónicos.

Por esta razón, la descarga de salmueras en la orilla de playa no permitirá una mezcla inicial del efluente suficientemente alta para reducir la salinidad a niveles inocuos para los ecosistemas marino-costeros y se deberá considerar su vertimiento a través de emisores submarinos que proporcionen una mezcla rápida del efluente en la proximidad de la descarga. También dispositivos de descarga de salmueras en la superficie del cuerpo receptor en lugares de profundidades de algunos metros, instalados por ejemplo en un muelle, pueden ser ambientalmente y económicamente viable, previo sustento técnico-ambiental en el instrumento de gestión ambiental, mediante la modelación de la zona de mezcla y el cálculo de la dilución inicial.

1.22.3.2 Vertimiento a través de emisor submarino

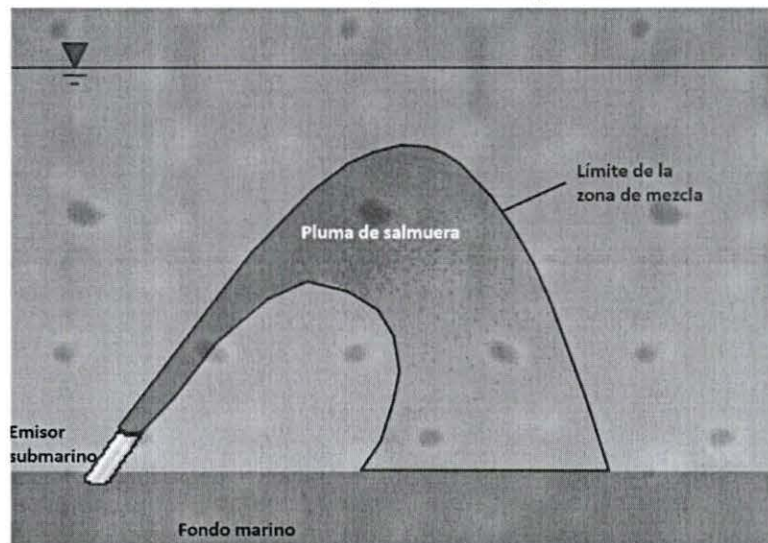
Dado que salmueras son más densas que el agua marina, la dilución inicial únicamente es determinada por la mezcla causada por el impulso de las aguas residuales al salir del dispositivo de descarga y por su descenso en la columna de agua hasta que tocan el fondo marino.

Gráfico N°24: Formación de una pluma de salmuera vertida mediante emisor subacuático a un cuerpo de agua natural marino.



Como se puede observar en la figura anterior, las salmueras salen del emisor submarino, recorren una trayectoria elíptica y caen al lecho marino. En este proceso hidrodinámico las aguas residuales se mezclan con las aguas marinas y las concentraciones de las sustancias contenidas en las aguas residuales y su salinidad se reducen debido a la dilución. El punto de dilución inicial máxima se obtendrá en el límite externo de la pluma que recae sobre el lecho marino.

Tabla N°3: Zona de Mezcla de un vertimiento de aguas residuales de mayor densidad que el agua de mar mediante emisor subacuático a un cuerpo natural de agua marino-costera.



Para lograr una alta dilución inicial, es recomendable usar orificios a 60° calculados desde el plano horizontal, evitando de este modo la mezcla con el mismo efluente, lo cual ocurre al emplear orificios verticales, y a su vez aprovechar al máximo el componente vertical del impulso de descarga de agua para mayor dilución. En estos casos, el número de Froude debería ser mayor que 20 (SALAS, 1994).

En el límite de la zona de mezcla, que en el caso específico del vertimiento de salmueras es el fondo marino, las concentraciones de los sólidos suspendidos deben ser inferiores a los ECA-Agua y la salinidad debería tener un nivel que no impacta en el medio ambiente bentónico.

1.22.4 Emisores con difusores de orificios múltiples

Para una determinada descarga en el mar a través de un emisor submarino, la dispersión inicial es mejorada mediante el uso de un difusor de orificios múltiples. Si la descarga se hace mediante un solo orificio, o sea masivamente, la dispersión y dilución será más lenta que la que ocurriría si se realizará por un área mayor que través de múltiples orificios. En efecto, sin el uso de difusores de orificios múltiples, permaneciendo invariables las otras condiciones, se requieren emisores mucho más largos en aguas profundas para proporcionar el mismo grado de dilución.

El número de orificios depende de su diámetro y es calculado de la condición que el área total de los orificios del difusor debería ser inferior al área de la tubería del difusor, para garantizar el funcionamiento hidráulico del difusor; si el área total de los orificios excede el área de la tubería, la velocidad media de la descarga por los orificios sería menor que la velocidad de flujo de la tubería, esto es, el flujo tendría que desacelerarse antes de la descarga. Físicamente esto no es posible y, por lo tanto, algunos orificios no descargarán a su máxima capacidad, o no lo harán, anulando de esta manera el propósito del difusor. Brooks (1970) ha propuesto que para asegurar que los orificios descargarán plenamente se debe mantener un número de Froude mayor 1; en la práctica esto corresponde a una relación entre el área de la tubería y el área total de los orificios de 1 a 0,9. Frecuentemente se encuentran difusores diseñados con una relación de 1:0,6 hasta 1:0,75.

La longitud del difusor depende del número de orificios y de su separación, que está en función de la superposición de las plumas de aguas residuales singulares. Si los orificios se encuentran en distancias muy grandes, la pluma singular emerge y se comporta como una pluma individual. Cuando la distancia entre los orificios es menor, las plumas se superponen y la dilución disminuye. Eventualmente, cuando las plumas están muy juntas, se sobreponen rápidamente y se comportan como si la descarga fuera realizada desde una ranura; esto es conocido como una fuente lineal. Para determinar la distancia entre los orificios óptima se aplica un proceso iterativo empleando un modelo numérico: inicialmente se selecciona una distancia grande y posteriormente se reduce la distancia gradualmente, hasta que la dilución inicial se aproxima a la dilución requerida, lo que generalmente resultará en un distancia entre $H \geq S \geq H/3$ (donde H es la profundidad media de descarga y S es la distancia entre los orificios). Esta es la distancia óptima donde se logra la dilución requerida con una longitud del difusor mínima.

Asimismo, para lograr una dilución inicial máxima reduciendo la extensión de la zona de mezcla a un mínimo, el eje del difusor deberá ser colocado perpendicular a la dirección de la corriente marina predominante.

1.22.5 Extensión máxima de la zona de mezcla

La extensión máxima de la zona de mezcla puede ser determinada con los modelos de simulación indicados en el capítulo IV.3.2.1, suponiendo las siguientes condiciones: estratificación mínima de la densidad del cuerpo receptor, corriente horizontal máxima en las diferentes direcciones de flujo y caudal del efluente máximo.

Para minimizar el riesgo de impactos en la salud de las personas que están en contacto directo con las aguas marinas en las actividades recreativas, de impactos en los ecosistemas marino-costeros y no haya afectación de la calidad de los productos hidrobiológicos producidos, no se podrá establecer una zona de mezcla en las siguientes áreas acuáticas:

- Áreas habilitadas por la Dirección General de Extracción y Producción Pesquera para Consumo Humano Directo, Ministerio de Producción, para desarrollar actividades de acuicultura, a menos que el vertimiento industrial autorizado sea pre-existente en las áreas que se indican.
- Áreas donde el Ministerio de Producción ha otorgado un derecho de uso acuícola, a menos que el vertimiento industrial autorizado sea pre-existente en las áreas que se indican.
- Aguas superficiales donde se realiza actividades recreativas de contacto primario, incluyendo actividades como por ejemplo la natación, o similares.³³
- Áreas Naturales Protegidas en el Ámbito Marino o Marino-costero salvo que se cuente con la opinión favorable del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado del Ministerio del Ambiente.
- Ecosistemas frágiles según su definición por la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, artículo 99, numeral 99.2, que comprende entre otros las bahías³⁴.

En las áreas acuáticas indicadas no se puede aprovechar la dilución con el agua natural, que ocurre en la zona de mezcla, y se deberá alejar el punto de vertimiento mediante la reubicación del dispositivo de descarga, a excepción que la calidad de las aguas residuales tratadas a verter sea la correspondiente a los ECA-Agua para la categoría que corresponda.

Asimismo, en el caso de emisores submarinos instalados en proximidad de bahías, existe un alto riesgo de incumplimiento de los ECA-Agua en el largo plazo, dado las bajas velocidades de corrientes, el bajo grado de intercambio de las aguas naturales y el consecuente riesgo de acumulación de contaminantes en las aguas de la bahía. Por lo tanto, es altamente recomendable que la parte final del emisor submarino (difusor) esté ubicado fuera de la bahía, asegurando que el vertimiento no retorne a ella, en ningún nivel de la columna de agua. Esto deberá ser demostrado mediante la modelación numérica de la dilución inicial y del transporte horizontal alejado de la zona de mezcla.

1.23. Información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua marino-costero

Para la evaluación del efecto del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo receptor marino es necesario contar con información sobre las condiciones ambientales del vertimiento, como la configuración del cuerpo natural de agua, la batimetría y las corrientes marinas.

Asimismo, se deberá conocer el perfil vertical de la densidad del agua natural en el punto de vertimiento en las diferentes estaciones del año, el cual es un factor determinante de la dilución inicial de las aguas residuales tratadas en el cuerpo marino.

Cuando las aguas residuales tratadas contienen patógenos, es de particular importancia el conocimiento de la distancia entre la descarga y las áreas sensibles a la contaminación microbiológica y de las corrientes hacia estas zonas, donde el impacto sobre actividades recreativas y de acuicultura puede imponerse, si la longitud del emisor no es suficiente para proporcionar el tiempo necesario para la eliminación de los agentes biológicos patógenos transportados hacia estas zonas por las corrientes.

También las características de las aguas residuales tratadas vertidas son determinantes de la dilución inicial; por lo tanto, se deberá estimar el caudal máximo de vertimiento, la densidad del efluente, las sustancias contenidas en las aguas residuales tratadas y sus concentraciones en las condiciones más críticas.

³³ En tanto la Autoridad de Salud no determine las aguas superficiales destinadas a uso recreativo de contacto primario se deberá considerar como zona sensible una franja de 300 m desde la orilla de las playas según su definición en el artículo 1° de la Ley N° 26856. La distancia de 300 m de la orilla de playa es aplicada para la definición de zonas de actividades recreativas de contacto primario por varios países, entre ellos Brasil, y por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 1988).

³⁴ Los ecosistemas frágiles son aquellos reconocidos por las autoridades ambientales y sectoriales mediante Resolución Ministerial, a propuesta del Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (hoy Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SERNANP).

Las concentraciones de los compuestos químicos y las densidades de los parámetros microbiológicos en el cuerpo receptor son otros factores a considerarse, dado que determina la capacidad del cuerpo receptor de asimilación de la carga contaminante del vertimiento de aguas residuales tratadas.

Otros parámetros imprescindibles para la evaluación del impacto de un vertimiento a través de un emisor submarino son: la profundidad de la descarga en el cuerpo de agua, el número de orificios, la distancia entre ellos, la orientación de los difusores y las características de diseño de los orificios.

1.23.1 Corrientes marinas

Un factor muy importante para la evaluación de la dilución inicial, de la extensión de la zona de mezcla y de los impactos en las zonas sensibles a la contaminación microbiológica, son las corrientes marinas; pues poseer datos de las direcciones de las corrientes, la velocidad de la corriente en varias profundidades y ubicaciones para todas las épocas del año y en marea ascendente y descendente, permite hacer estimaciones adecuadas sobre los efectos de dilución, dispersión y transporte de campo, y es indispensable para una estimación adecuada en el análisis de riesgos.

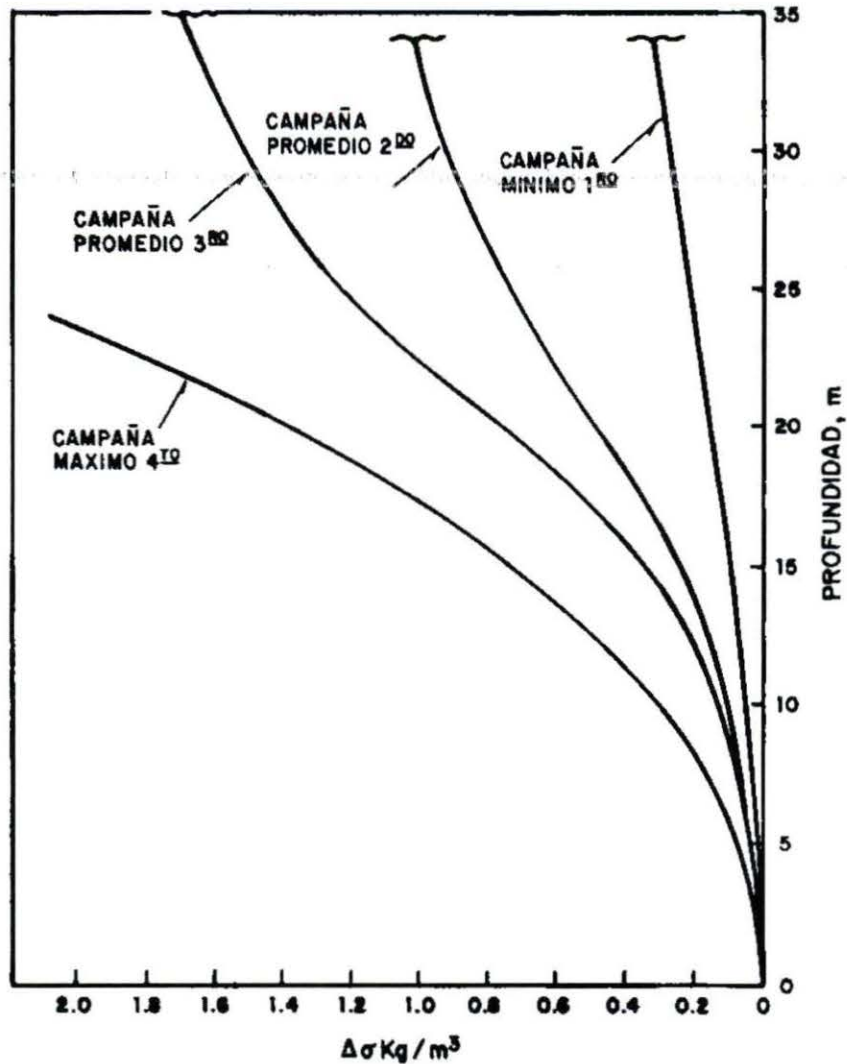
Los vectores de la velocidad de las corrientes marinas son determinados a base de estudios de las corrientes oceanográficos o del modelamiento de las corrientes marinas. Los estudios oceanográficos abarcan generalmente el empleo intensivo de flotadores con vela de arrastre sumergida. Tales mediciones deberán concentrarse en la posición estimada del difusor. Para la determinación de las corrientes a diferentes profundidades, se emplean flotadores cuya vela de arrastre se encuentre a la profundidad de interés. Para poder determinar las velocidades mínimas de la corriente marina, que puede ser aplicada en la simulación de la dilución inicial mínima, se recomienda emplear medidores continuos, tales como el Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) u otro instrumento de medición continua reconocido por la Dirección de Hidrografía y Navegación, con un período mínimo de 30 días de medición, y realizar una evaluación de los resultados de la medición empleando una metodología estadística. En la mayor parte de los casos será, no obstante, suficiente con la realización de medidas de la corriente marina a varias profundidades en la columna de agua marina, durante las diferentes estaciones del año y las épocas de transición (4 campañas).

En el caso de aplicar el modelamiento de las corrientes marinas, el modelo debería ser calibrado y validado con los resultados de por lo menos dos (02) campañas de medición de las corrientes realizadas en las diferentes estaciones del año.

1.23.2 Densidad del agua natural marina

Debido a la variabilidad vertical de la temperatura y/o salinidad, las aguas receptoras no están homogéneamente mezcladas en la profundidad; es decir, son más densas en el fondo que cerca de la superficie, lo cual produce una estratificación. Tales condiciones se encuentran en cuerpos de agua marinos cálidos, particularmente en el norte del Perú, donde la estratificación es causada por un gradiente térmico con mayores temperaturas en la superficie (=menor densidad) y menores temperaturas en el fondo (=mayor densidad). Usualmente, en el verano habrá estratificación térmica máxima y en el invierno estratificación mínima. Un ejemplo de las curvas de estratificación térmica de la densidad se muestra en la figura siguiente:

Gráfico N°25: Curvas ejemplares de la estratificación térmica de la densidad en diferentes estaciones del año (LUDWIG R., 1988).

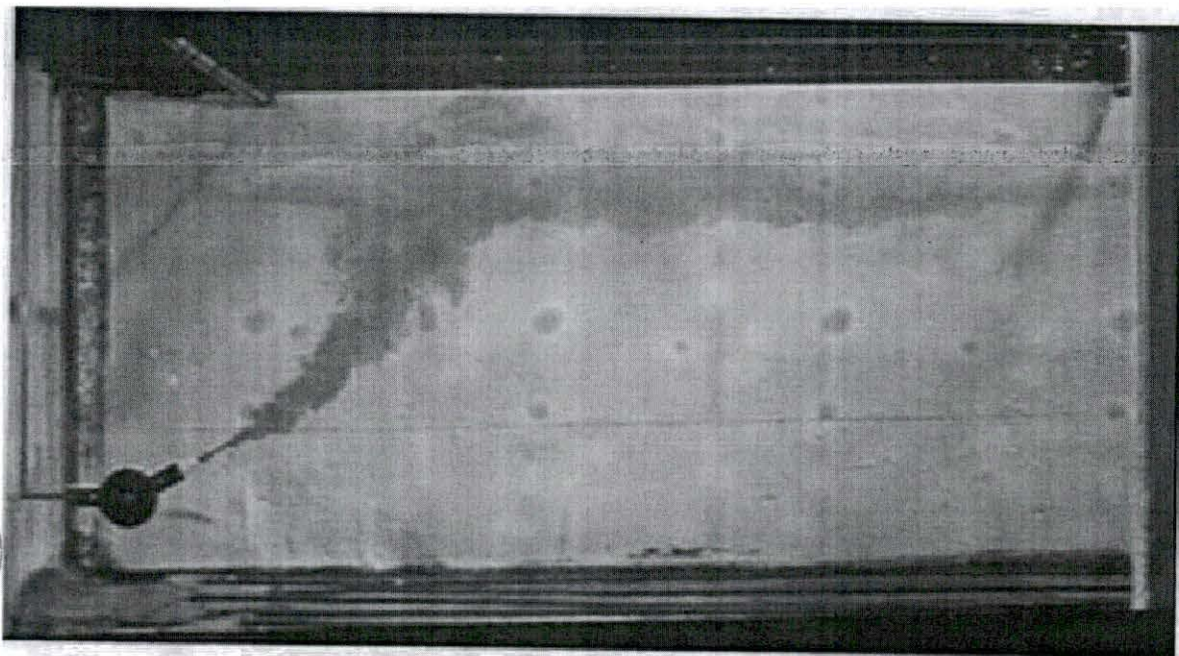


[Firma manuscrita]

Otro caso, donde se encuentra una estratificación de la densidad significativa, son los lugares donde se descargan al mar cantidades significativas de agua dulce, es decir, los estuarios y los cuerpos de agua marino-costeros en la proximidad de la desembocadura de ríos o canales. Aquí las aguas dulces (menor densidad) se superponen a las aguas saladas (mayor densidad), causando gradientes de densidad verticales y horizontales significativos. Este fenómeno puede extenderse hasta algunos kilómetros mar adentro. Cabe señalar, que la estratificación será máxima durante los períodos de mayor caudal de descarga de agua dulce.

La variabilidad de la densidad con la profundidad tiene un efecto significativo en la dilución inicial y puede evitar que la pluma de aguas residuales tratadas vertidas alcance totalmente la superficie (véase la figura siguiente).

Gráfico N°26: Formación de una pluma emergente de aguas residuales en un cuerpo de agua natural marino con estratificación térmica de la densidad (instalación experimental de K.Hofer, VAW, Zürich).



En el caso de vertimientos a cuerpos marinos del extremo norte del Perú (al Norte del 6° de latitud), en estuarios o en la proximidad de las desembocaduras de los ríos o canales de agua dulce, se deberá determinar la estratificación de la densidad del cuerpo natural de agua en las diversas estaciones del año en por lo menos cuatro tomas de muestra en el punto de vertimiento propuesto a diferentes profundidades con un muestreador de agua profunda y realizar la medición inmediata de temperatura y densidad con el densímetro. En alternativa a la medición de la densidad, se podrá medir la temperatura y la salinidad, para luego calcular la densidad con los algoritmos integrados en los software de simulación de la dilución inicial o los aplicativos publicados por autoridades ambientales internacionales, como por ejemplo la "National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)" de EEUU ³⁵.

También se podrá calcular la densidad manualmente, usando la siguiente ecuación (El-Dessouky y Ettouny, 2002) que es aplicable para salinidades de 0 a 160 ppt y temperaturas entre 10 y 100°C a una presión de 1 atm:

$$\rho = A_1F_1 + A_2F_2 + A_3F_3 + A_4F_4 \quad [\text{kg/L}]$$

donde:

$$A = (2T - 200)/160$$

T es la temperatura del agua en °C

$$F_1 = 0,5$$

$$F_2 = A$$

$$F_3 = 2A^2 - 1$$

$$F_4 = 4A^3 - 3A$$

$$A_1 = 4,032219G_1 + 0,115313G_2 + 3,26 \cdot 10^{-4}G_3$$

$$A_3 = -0,012247G_1 + 1,74 \cdot 10^{-3}G_2 - 9,0 \cdot 10^{-6}G_3$$

$$B = (2\text{Sal} - 150)/150$$

Sal es la salinidad en ppt (partes por mil) o gramos por litro (g/L)

$$G_1 = 0,5$$

$$G_2 = B$$

$$G_3 = 2B^2 - 1$$

$$A_2 = -0,108199G_1 + 1,571 \cdot 10^{-3}G_2 - 4,23 \cdot 10^{-4}G_3$$

$$A_4 = 6,92 \cdot 10^{-4}G_1 - 8,7 \cdot 10^{-5}G_2 - 5,3 \cdot 10^{-5}G_3$$

³⁵ Véase <http://www.csgnetwork.com/h2odenscalc.html>

1.23.3 Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, es necesario contar con información respecto de las concentraciones de los parámetros que ya se encuentran en el cuerpo receptor, las cuales se determinan a través de la toma de muestra de agua y el análisis en un laboratorio acreditado por INDECOPI y/o el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Los parámetros que se analizan, son aquellos que estarán potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas. De forma referencial, se recomienda analizar los parámetros definidos para las diferentes actividades y categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural en la Tabla N° 2 (capítulo 1.2) y adicionalmente las sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua en la categoría correspondiente.

Considerando la variabilidad estacional de las características de un cuerpo de agua marino, se realizará por lo menos cuatro tomas de muestra con una frecuencia trimestral en la ubicación del vertimiento proyectado en diferentes profundidades, que deben ser seleccionadas en función de la estratificación térmica del cuerpo de agua³⁶. La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor, debería ser realizada en las mismas fechas en las cuales se determina las corrientes y la estratificación térmica en el marco del estudio oceanográfico.

En el caso de la adecuación de un vertimiento en curso a la normatividad ambiental, el punto de toma de muestra deberá ser ubicado a fuera de la zona de influencia del vertimiento actual, es decir, en una distancia de algunas centenas de metros del punto de vertimiento en curso en dirección contraria a la dirección de las corrientes predominantes.

1.24. Evaluación del cumplimiento de los ECA-Agua

La evaluación del impacto de un vertimiento en un cuerpo de agua marino, efectuado a través de un emisor submarino, debería comprobar que el diseño del difusor submarino o de otro dispositivo de descarga proporciona una dilución inicial mínima $-S_a-$ que es mayor que la dilución requerida $-S_{max}-$.

$$S_a \geq S_{max}$$

Si esta inecuación da un resultado verdadero, las concentraciones de los contaminantes contenidos en las aguas residuales tratadas en el límite de la zona de mezcla serán inferiores a los ECA-Agua.

Para calcular la probable concentración máxima en el límite de la zona de mezcla $-C_{LZDM,i}-$ se podrá usar la siguiente ecuación:

$$C_{LZDM,i} = \frac{(C_{vert,i} + S_a \cdot C_{RH,i})}{(S_a + 1)}$$

La probable concentración máxima en el límite de la zona de mezcla deberá ser inferior al ECA-Agua correspondiente:

$$C_{LZDM,i} \leq C_{ECA,i}$$

donde,

$C_{vert,i}$ es la concentración máxima del parámetro i en el efluente, determinada según capítulo 1.3.

S_a es la dilución inicial mínima que proporciona el dispositivo de descarga, determinada según capítulo IV.3.2.

$C_{ECA,i}$ es el ECA-Agua del parámetro i según la categoría que corresponda.

³⁶ Estratificación térmica de la densidad se encuentra en cuerpos de agua marinos cálidos, particularmente en el extremo norte del Perú (al Norte del 6° de latitud).

- $C_{RH,i}$ es la concentración máxima del parámetro i en el cuerpo de agua natural determinada según lo indicado en el capítulo IV.2.3.
- $i \dots$ representa los parámetros comprendidos en los ECA-agua y relevantes para el tipo de efluente, determinados según el capítulo I.2.

En el caso que el diseño del difusor submarino no proporcione una dilución inicial suficiente, es decir: $S_a < S_{max}$, se deberá reconsiderar el diseño del emisor submarino incrementando el número de orificios, el espacio entre ellos, la longitud del emisor para lograr una mayor profundidad de descarga o, en su defecto, disminuyendo el diámetro de los orificios, entre otras opciones de diseño. Alternativamente, se podrá prever mecanismos que permiten reducir el caudal o las concentraciones del efluente considerando por ejemplo: la implementación de tecnologías limpias que reduzcan el volumen y/o la carga de las aguas residuales generadas, el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales o modificando el proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de los parámetros críticos. Para este caso, se podrá calcular la concentración máxima admisible del vertimiento ($C_{vert,admi}$), que permitirá cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor, con la siguiente ecuación:

$$C_{vert,admi} = S_a \cdot (C_{ECA,i} - C_{RH,i}) + C_{ECA,i}$$

La ecuación antecedente es aplicable también para determinar la concentración máxima en el efluente, que permite cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor, de los parámetros no reglamentados por el sector con un LMP. Esta concentración máxima podrá ser usada como un criterio de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el caso que el parámetro evaluado se encuentre en el cuerpo natural de agua en concentraciones superiores al Estándar de Calidad Ambiental correspondiente, es decir $C_{RH} \geq C_{ECA}$, su concentración en las aguas residuales tratadas vertidas deberá ser igual o menor que la concentración en el cuerpo receptor ³⁷:

$$C_{vert} \leq C_{RH}$$

En estas condiciones, el vertimiento no causará un incremento de la concentración en el cuerpo receptor y no creará un impacto adicional en el cuerpo natural de agua afectado por otras fuentes de contaminación.

En el caso se pueda demostrar que un cuerpo de agua presente parámetros en concentraciones superiores a los ECA-Agua por sus condiciones naturales, este cuerpo de agua podrá ser exceptuado de la aplicación de determinados ECA-Agua (artículo 7 del D.S. 023-2009-MINAM). Administrativamente, la excepción es realizada mediante la aprobación por la ANA del estudio técnico que sustente la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad de las aguas naturales. Asimismo, la ANA deberá comunicar al MINAM los cuerpos de agua y los parámetros de excepción.

I.24.1 Determinación de la dilución inicial requerida (S_{max})

La dilución requerida para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla (S_{max}) se calcula con:

$$S_{max} = MAX(S_i, S_{(i+1)}, \dots, S_{(i+n)})$$

y

$$S_i = \frac{(C_{vert,i} - C_{ECA,i})}{(C_{ECA,i} - C_{RH,i})}$$

donde,

$S_i, S_{(i+n)}$ es la dilución necesaria para respetar los ECA-Agua del parámetro i o $i+n$ respectivamente.

³⁷ Véase Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM "Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua", artículo 8, numeral 8.5: "En caso que, la calidad ambiental de un cuerpo de agua supere uno o más parámetros de los ECA para agua, la autoridad competente sólo aprobará los instrumentos de gestión ambiental de los proyectos que se desarrollen en dicha cuenca o zona marino costera, cuando se aseguren que el vertimiento, no contenga los referidos parámetros del ECA superado."

- $i, i+n$ son los parámetros comprendidos en los ECA-agua y relevantes para el tipo de efluente, determinados según el capítulo I.2.
- $C_{vert,i}$ es la concentración del parámetro i en el efluente, determinada según el capítulo I.3.
- $C_{ECA,i}$ es el ECA-Agua del parámetro i según la categoría que corresponda.
- $C_{RH,i}$ es la concentración máxima del parámetro i en el cuerpo de agua natural determinada según lo indicado en el capítulo IV.2.3.
- S_{max} Es la dilución requerida para cumplir con los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla, definida como el valor máximo de los factores de dilución calculados para los parámetros relevantes para el tipo de efluente.

Exclúyase del cálculo de la dilución requerida a los parámetros microbiológicos, dado que estos no deberán ser evaluados en el límite de la zona de mezcla donde ocurre la dilución inicial, si no en el campo lejano con una metodología diferente, que se describe en el capítulo IV.4.

1.24.1.1 Determinación de la dilución inicial requerida para el vertimiento de salmueras

Para el vertimiento de salmueras al mar, el Ministerio del Ambiente propuso una diferencia máxima de los Sólidos Totales Disueltos de 4 g/L con respecto al contenido natural del mar, a cumplirse en el límite de la zona de mezcla³⁸.

Con concentraciones de sólidos disueltos en las salmueras de las plantas de osmosis inversa de 65 g/L hasta 85 g/L y una concentración de sólidos disueltos en el agua natural marina de 35 g/L, obtenemos una dilución requerida $-S_{STD}-$ de:

$$S_{STD} = \frac{(C_{vert,STD} - C_{ECA,STD})}{(C_{ECA,STD} - C_{RH,STD})} = \frac{(C_{vert,STD} - (C_{RH,STD} + 4 \text{ g/L}))}{((C_{RH,STD} + 4 \text{ g/L}) - C_{RH,STD})} = \frac{(65 \text{ hasta } 85) - (35 + 4)}{4} = 7 \text{ hasta } 12$$

La propuesta del MINAM mencionada anteriormente constituye un proyecto de norma que hasta la fecha no fue aprobada, que corresponde al criterio aplicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (diferencia máxima de la salinidad de 4 g/L con respecto a la salinidad natural, a cumplirse en el límite de la zona de mezcla). Sin embargo, debería considerarse que no todos los ecosistemas toleran un incremento de la salinidad de 4 g/L, como es el caso del molusco bivalvo *Crassostrea gigas* u ostra del pacífico, que es más sensible al incremento de salinidad; en el caso de incrementos de 1,5 g/L, la tasa de supervivencia de larvas se reduce un 10% pero con incrementos de 2,5 g/L, la reducción de la tasa de supervivencia alcanza el 100%. También a nivel internacional frecuentemente se encuentran límites más restrictivos: En Japón las Autoridades Ambientales han establecido la salinidad máxima admisible en el fondo marino con 2 g/L superiores a la salinidad natural. En Abu Dabi, se reglamentó un delta de salinidad máximo de 1,75 g/L a cumplirse en el límite de la zona de mezcla y en Omán, el delta de salinidad debería ser menor de 2 g/L en una distancia no mayor de 300 m del difusor. En Australia, el "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)" especifica en el Guía para Aguas Continentales y Marinas que el incremento medio de salinidad tiene ser inferior del 5% respecto a la salinidad natural del ambiente, lo que en mares de Australia equivale aproximadamente a un incremento de la salinidad de 1,5 g/L. Por lo que, para evitar algún daño al ecosistema en el cual se están vertiendo las aguas de las plantas desalinizadoras, se recomienda realizar estudios específicos en los ecosistemas marinos locales y su tolerancia a las variaciones de la salinidad, y adecuar el cálculo de la dilución requerida según corresponda.

³⁸ Resolución Ministerial N°031-2014-MINAM: Publicación del Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas Desalinizadoras, de fecha 3 de febrero de 2014.

1.24.2 Determinación de la dilución inicial mínima (S_a)

La dilución inicial mínima (S_a) es el principal factor para el diseño de sistemas de descarga a cuerpos de agua marinos; en la literatura mundial suelen encontrarse diseños de emisores submarinos con diluciones iniciales entre 50 y 200, alcanzando diluciones significativamente mayores en el caso de velocidades de corriente altas o cuando las aguas residuales tienen la misma densidad que el agua natural.

La evaluación de la dilución inicial mínima – S_a – proporcionada por el difusor submarino propuesto, deberá ser realizada mediante el uso de los modelos numéricos descritos en lo siguiente. Alternativamente, para la evaluación de los vertimientos de aguas residuales de menor densidad que el agua de mar, como por ejemplo vertimientos de aguas residuales domésticas-municipales o de industrias manufactureras, se podrá hacer uso de las metodologías simplificadas, que se describen en el numeral IV.3.2.2.

1.24.2.1 *Modelos numéricos para la determinación de la extensión de la zona de mezcla y de la dilución inicial*

En la actualidad existen diferentes modelos numéricos que simulan los complejos procesos hidrodinámicos que ocurren en la zona de mezcla; su solución es realizada mediante paquetes de software especializado, que además permiten el ingreso de los datos a través de interfaz gráfica y la representación de los resultados de la simulación en tablas, gráficos e imágenes en 2D y 3D.

A tal propósito, se recomienda los modelos de simulación auspiciados por el Centro de Modelamiento para la Evaluación de la Exposición (Center for Exposure Assessment Modeling – CEAM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), el cual distribuye programas (*software*) aptos para determinar la dilución inicial de las aguas residuales vertidas a cuerpos receptores marinos, la extensión de la zona de mezcla inicial, la temperatura del agua en el límite de la zona de mezcla y el decaimiento de los coliformes en el campo lejano. Entre estos modelos de simulación, se cuenta con el software libre Visual Plumes³⁹ (USEPA, 2003) y el software CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System), el cual se basa en los principios, criterios y metodologías establecidas en el estudio "Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments" de Norman H. Brooks y el estudio "Dilution Models for Effluent Discharges" de D.J. Baumgartner, W.E. Frick y P.J. W. Roberts. También puede hacerse uso de otro modelo aplicable para la simulación de los procesos hidrodinámicos en el campo cercano de un vertimiento de aguas residuales.

Mediante el modelamiento, debidamente sustentado en todos las variables y constantes aplicadas, se deberá comprobar que el diseño del difusor submarino proporciona una dilución inicial mínima - S_a - que es mayor que la dilución requerida - S_{max} - para respetar los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla, es decir, en la superficie o en el punto de altura máxima de la subida en un ambiente estratificado (punto de emergencia del efluente) o en el lecho marino, cuando se trata de aguas residuales de mayor densidad que el agua de mar.

Las condiciones más críticas en términos de dilución, es el escenario de velocidad de corriente nula, estratificación del cuerpo de agua marino máxima y caudal del efluente máximo. Aplicando estas condiciones para el modelamiento, se obtiene un diseño del emisor conservativo, que permitirá el cumplimiento de los ECA-Agua en todo momento. Sin embargo, cuando se dispone de datos de corriente determinados mediante medidores continuos en un período mínimo de 30 días, se podrá aplicar el percentil del 20% de todos los datos de velocidad registrados como la corriente mínima de diseño (correspondiente a la velocidad que en el 80 % de las mediciones fue superada).

En el caso del vertimiento de aguas de alta temperatura ($T > 35^{\circ}\text{C}$), como las aguas de refrigeración de plantas termoeléctricas o las salmueras de los procesos de desalinización de agua marina mediante la tecnología de destilación multi-etapa (multi-stage flash distillation - MFS), se deberá comprobar que la dilución inicial sea mayor que la dilución requerida para el cumplimiento de los ECA-Agua de los parámetros

³⁹ Visual Plumes está disponible con licencia libre en

<http://www2.epa.gov/exposure-assessment-models/visual-plumes>

críticos y adicionalmente, que el incremento de la temperatura en el límite de la zona de mezcla no sea mayor de 3°C con relación a la temperatura natural del agua ⁴⁰.

Para la determinación de la extensión máxima de la zona de mezcla se aplica la corriente horizontal máxima en las diferentes direcciones de flujo, estratificación del cuerpo de agua marino mínima y el caudal del efluente máximo.

1.24.2.2 Metodologías simplificadas para la determinación de la dilución inicial

Las metodologías simplificadas son ecuaciones determinísticas que permiten simular los procesos de dilución inicial; se diferencian de los modelos numéricos (software) por su simplicidad y el número reducido de datos de ingreso (no requieren de datos de la corriente marina).

Sin embargo, se recomienda su aplicación para la evaluación de pequeñas descargas submarinas al mar solamente, dado que dan resultados muy conservativos; en el caso de descargas grandes, como por ejemplo de zonas urbanas, la realización de estudios oceanográficos y la aplicación de un software de modelación es la opción económicamente más viable, dado que resultará en una evaluación más exacta, un diseño del dispositivo de descarga optimizado y, por consiguiente, en un menor costo de construcción.

Los modelos matemáticos presentados en los siguientes capítulos son aplicables para el vertimiento a través de emisores submarinos de aguas residuales tratadas que tengan una menor densidad que las aguas naturales marinas, que son entre otros:

- Aguas residuales tratadas domésticas – municipales.
- Aguas residuales tratadas industriales generadas en el uso de aguas dulces.

Nótese que las metodologías descritas en lo siguiente no son aplicables para descargas en la superficie del cuerpo receptor, ni para vertimientos de aguas residuales de igual o mayor densidad que el agua de mar. Este tipo de vertimientos debería ser evaluado con los modelos numéricos indicados en el numeral IV.3.2.1.

Emisores submarinos con un solo orificio

La dilución inicial de un emisor con un solo orificio en condiciones de corriente nula puede ser calculada con la ecuación propuesta por Brooks (1973):

$$S_a = 0,155 \cdot g_d^{1/3} \cdot z_{\max}^{5/3} / Q^{2/3}$$

donde:

$$g_d' = g \cdot \Delta\rho / \rho_0$$

g es la fuerza de gravedad, $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$

$\Delta\rho$ es la diferencia entre la densidad del agua natural y la densidad del efluente en kg/L; valor normal para aguas marinas y aguas residuales tratadas doméstica-municipales: 1,0258-0,9995=0,0263 kg/L

ρ_0 es la densidad del agua natural en kg/L; valor normal para aguas marinas: 1,0258 kg/L

z_{\max} es la elevación de ascenso máxima, metros, que se determina en un ambiente estratificado como se encuentra estacionalmente en los cuerpos marino-costeros del norte del Perú (Brooks, 1973):

$$z_{\max} = 2,91 \cdot g_d'^{1/4} \cdot Q^{1/4} / G^{3/8}$$

con $G = (g/\rho_0) \cdot (\Delta\sigma/H)$

Cuando la ecuación anterior arroja un z_{\max} que es mayor de la profundidad de descarga, el cuerpo receptor corresponde a un ambiente no estratificado, característico de los cuerpos marino-costeros del centro y sur del Perú. En este caso: $z_{\max} = H$

⁴⁰ ECA-Agua de la temperatura en cuerpos de agua marinos de categoría 2 y 4.

- Q es el caudal máximo de vertimiento en m³/s.
- H es la profundidad de descarga, en metros.
- $\Delta\sigma$ es la variación de densidad en la columna de agua marina expresada en kg/L (diferencia de la densidad en profundidad de la descarga y en la superficie determinada según capítulo IV.2.2. Ejemplo: Salinidad=35 ppt, temperatura en superficie: 22°C, temperatura en el fondo: 18°C, $\Delta\sigma=0,001141$ kg/L).

Emisores con difusores de orificios múltiples

La dilución inicial de un emisor con orificios múltiples en condiciones de corriente nula puede ser calculada con la ecuación propuesta por Roberts (1977 y 1980):

$$S_a = 0,38 \cdot j_o^{1/3} \cdot z_{\max} / q \quad (\text{valido para } F \leq 0,1)$$

donde:

F es el número de Froude en el campo ascendente de aguas residuales, $F = U^3 / j_o$

j_o es el flujo impulsado por la fuerza vertical ascendente por metro de difusor, en m³/s².

$$j_o = q \cdot g \cdot \Delta\rho / \rho_d$$

q es el caudal lineal de vertimiento en m³/(s·m), $q = Q / L_D$

Q es el caudal máximo de vertimiento en m³/s.

L_D es la longitud del difusor en m.

g es la fuerza de gravedad, $g = 9,80665$ m/s²

$\Delta\rho$ es la diferencia entre la densidad del agua natural y la densidad del efluente en kg/L; valor normal para aguas marinas y aguas residuales doméstica-municipales: 1,0258-0,9995=0,0263 kg/L

ρ_d es la densidad del agua residual en kg/L; valor normal para aguas residuales tratadas doméstica-municipales: 0,9995 kg/L

z_{\max} es la elevación de ascenso máxima en un ambiente estratificado, expresado en metros, que se calcula con la ecuación propuesta por Wright (1984):

$$z_{\max} = 2,84 \cdot j_o^{1/3} \cdot \left[\frac{\rho_o \cdot H}{g \cdot \Delta\sigma} \right]^{1/2}$$

Cuando la ecuación anterior arroja un z_{\max} que es mayor de la profundidad de descarga o cuando la diferencia de la densidad en la profundidad de la descarga y en la superficie - $\Delta\sigma$ - sea nula, el cuerpo receptor corresponde a un ambiente no estratificado. En este caso:

$$z_{\max} = H$$

ρ_o es la densidad del agua natural, valor normal 1,0258 kg/L.

$\Delta\sigma$ es la variación de densidad en la columna de agua marina expresada en kg/L (diferencia de la densidad en la profundidad de la descarga y en la superficie. Ejemplo: Salinidad=35 ppt, temperatura en superficie: 22°C, temperatura en el fondo: 18°C, $\Delta\sigma=0,001141$ kg/L).

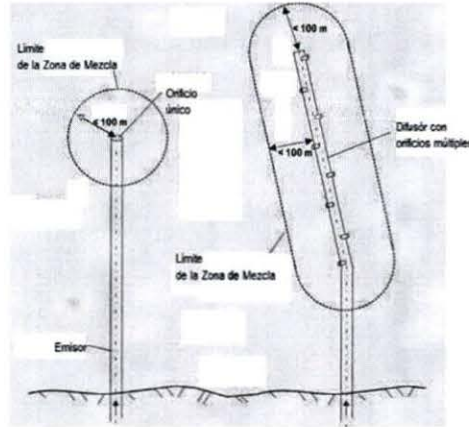
H es la profundidad media de descarga, metros.

Determinación de la extensión de la zona de mezcla

Dado que las metodologías simplificadas descritas en el anterior no permiten determinar la extensión de la zona de mezcla, se podrá emplear el criterio aplicado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados

Unidos, que define la zona de mezcla con un área acuática que tiene una extensión máxima de 100 metros medidos desde el difusor en todas las direcciones.

Tabla N°4: Límite de la zona de mezcla a aplicarse en defecto del cálculo de la extensión máxima de la zona de mezcla mediante un modelo de simulación numérico.



I.25. Evaluación del impacto de vertimientos con carga de patógenos

Para los vertimientos de efluentes con carga de patógenos a un cuerpo de agua marino-costero, se deberá comprobar que no haya impacto negativo en zonas sensibles en proximidad del vertimiento, demostrando que la densidad de los coliformes termotolerantes en el límite de la zona sensible será inferior al ECA-Agua correspondiente. Las zonas sensibles a patógenos, son cuerpos de agua marino-costeros usados para la producción y extracción de moluscos u otras especies hidrobiológicas⁴¹ y para actividades recreacionales⁴².

Para esta evaluación se puede aplicar la metodología convencional descrita en lo siguiente, o, alternativamente, los modelos numéricos (software) que permiten la simulación del transporte horizontal, la dispersión y el decaimiento de los coliformes. Independientemente de la metodología aplicada, se recomienda determinar la tasa de desaparición de coliformes (T_{90}) con la metodología descrita en el numeral IV.4.3.

El tiempo de transporte desde el vertimiento hasta el límite de la zona sensible (T_t), debería ser mayor que el tiempo de residencia mínimamente requerido para la reducción de la densidad de los coliformes termotolerantes a los niveles del ECA-Agua ($T_{residencia,min}$).

$$T_t > T_{residencia,min}$$

En el caso que el tiempo de transporte desde el vertimiento hasta el límite de la zona sensible es menor que el tiempo de residencia mínimamente requerido para la reducción de la densidad de los coliformes termotolerantes a los niveles del Estándar de Calidad Ambiental ($T_t < T_{residencia,min}$), será necesario aumentar la distancia del difusor de la zona sensible, para aumentar el tiempo de transporte o, alternativamente, reduciendo la carga microbiológica del vertimiento proyectando los sistemas de tratamiento correspondientes. Sin embargo, no se recomienda la cloración de las aguas residuales de alta carga

⁴¹ Áreas habilitadas por la Dirección General de Extracción y Producción Pesquera para Consumo Humano Directo, Ministerio de Producción, para desarrollar actividades de acuicultura y áreas donde el Ministerio de Producción ha otorgado un derecho de uso acuícola.

⁴² Aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, incluyendo actividades como natación, esquí acuático, buceo libre, surf, canotaje, navegación en tabla a vela, mota acuática, pesca submarina, o similares. En tanto la Autoridad de Salud no determine las aguas superficiales destinadas a uso recreativo de contacto primario se recomienda considerar como zona sensible una franja de 300 m desde la orilla de las playas según su definición en el artículo 1° de la Ley N° 26856. La distancia de 300 m de la orilla de playa es aplicada para la definición de las zonas de actividades recreativas de contacto primario por varios países, entre ellos Brasil, y por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 1988).

orgánica considerando el riesgo de formación de trihalometanos que pueden afectar al medio ambiente acuático.

I.25.1 Determinación del tiempo de transporte

El tiempo de transporte desde el vertimiento hasta el límite de zona sensible (T_t) se calcula con:

$$T_t = \frac{D}{U \cdot 3600}$$

donde:

- U** es el vector de velocidad máxima, en m/s. Esta velocidad deberá ser determinada para las diferentes estaciones del año mediante flotadores con vela de arrastre en varias profundidades o con el modelamiento de las corrientes marinas (véase capítulo IV.2.1).
- D** es la distancia mínima desde el vertimiento hasta el límite de zona sensible en dirección de la corriente marina, en metros. En el caso de situaciones de flujo complejos con vectores de corriente que describen curvas, la distancia deberá ser determinada siguiendo las curvas de los vectores, desde el vertimiento hasta el límite de las zonas sensibles.

En la identificación de las zonas sensibles potencialmente impactadas, se deberá considerar la dispersión horizontal de la pluma de aguas residuales en el campo lejano. Esto es de particular importancia en el caso que la corriente marina sea paralela al límite de la zona sensible, situación frecuente con zonas recreativas de contacto primario y corriente paralela a la orilla de playa. En los siguientes gráficos, se representa como se deberá considerar la dispersión horizontal para la determinación de las zonas sensibles potencialmente impactados y de la distancia D.

Gráfico N°27: Dispersión horizontal de la pluma de aguas residuales en el campo lejano y punto de impacto en la zona de actividades recreativas de contacto primario.

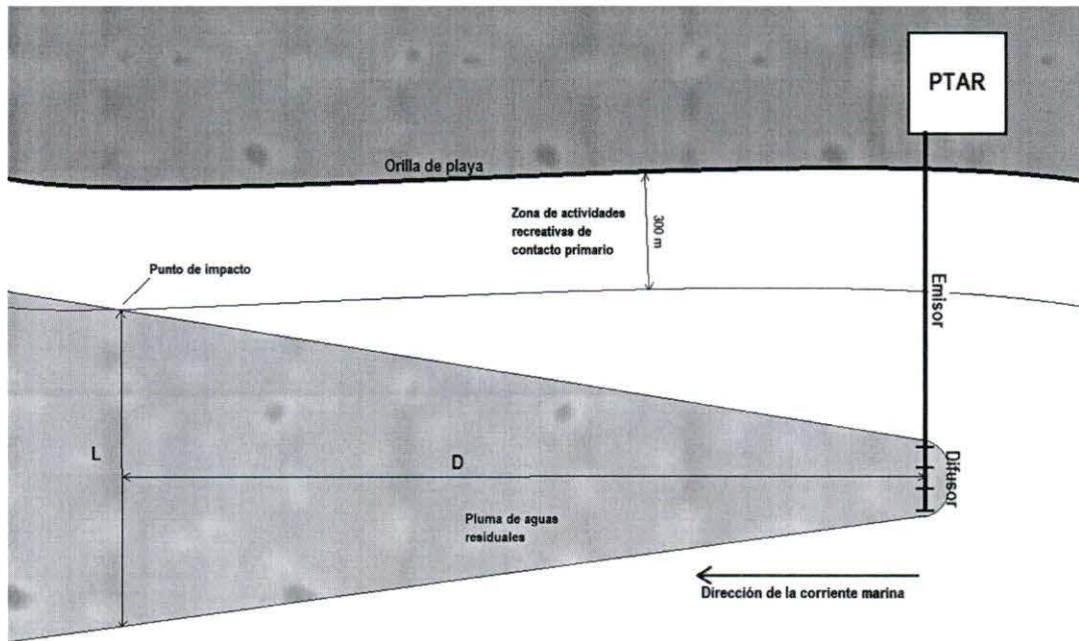
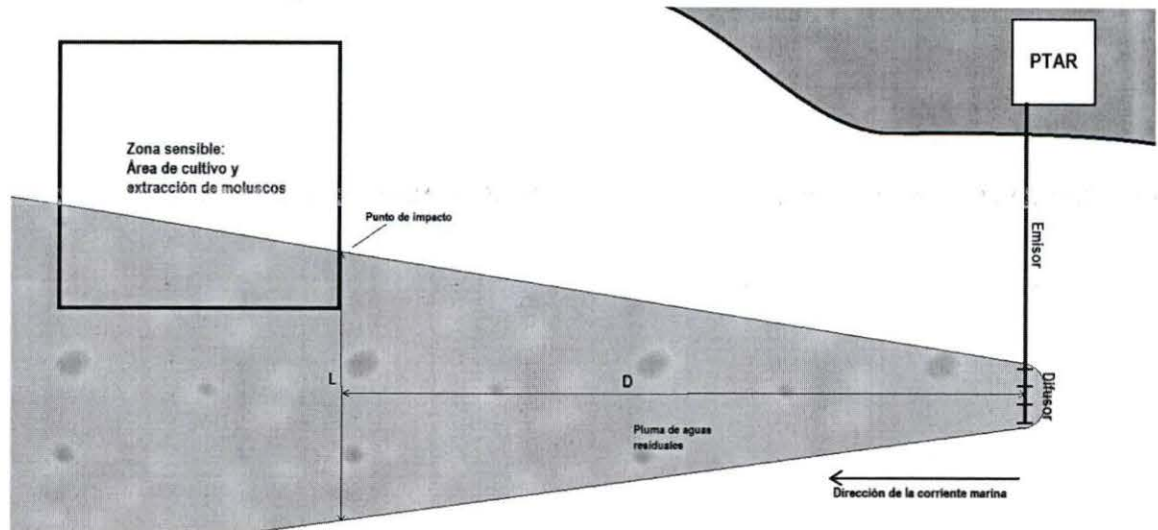


Gráfico N°28: Dispersión horizontal de la pluma de aguas residuales en el campo lejano y punto de impacto en el área de cultivo y extracción de moluscos.



L es el ancho de la pluma en la distancia D del vertimiento en metros, que se puede calcular con la ecuación de mezcla turbulenta de Brooks (1960):

$$L = b \cdot \left(1 + \frac{8 \cdot \alpha \cdot D}{U \cdot b^{2/3}} \right)^{3/2}$$

b es el ancho de la pluma emergiendo a la superficie, en metros, que se puede calcular con:

$$b = L_d \cdot \cos(90 - \gamma) + 0,5 \cdot H_{med}$$

L_d es longitud del difusor, en metros. En caso de orificio único: $L_d = 0$.

γ es el ángulo en el plano horizontal entre el vector de la corriente marina -U- y el eje central del difusor, en grados sexagesimales.

H_{med} es la profundidad media de descarga, en metros.

α es el coeficiente de dispersión horizontal en $m^{2/3}/s$, que en zonas costeras de alta disipación de energía (como las costas del Perú) llega a valores de hasta $0,0005 m^{2/3}/s$.

1.25.2 Determinación del tiempo de residencia mínimamente requerido

El tiempo de residencia mínimamente requerido para la reducción de la densidad de los coliformes termotolerantes a los niveles del Estándar de Calidad Ambiental ($T_{residencia,min}$), que se calcula con:

$$T_{residencia,min} = T_{90} \cdot \text{LOG}_{10}(C_{Mezcla} / C_{ECA})$$

donde:

T_{90} ... es la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes, determinada según lo indicado en el numeral IV.4.3.

C_{ECA} ... es el ECA-Agua de los coliformes termotolerantes según la categoría correspondiente a la zona sensible a contaminación microbiológica ⁴³.

⁴³ Para zonas de actividades recreativas de contacto primario (categoría 1 subcategoría B1): 200 NMP/100mL; para áreas aprobadas para la extracción y cultivo de moluscos bivalvos (categoría 2 subcategoría 1): 14 NMP/100mL; para áreas restringidas para la extracción y cultivo de moluscos bivalvos (categoría 2 subcategoría 1): 88 NMP/100mL; para zonas de extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (categoría 2 subcategoría 2): 30 NMP/100mL. Áreas aprobadas son áreas acuáticas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio

C_{Mezcla} es la densidad de coliformes termotolerantes después de la dilución inicial en la zona de mezcla y de la dispersión horizontal desde la zona de mezcla hasta el límite de la zona sensible. Se calcula con:

$$C_{Mezcla} = \frac{C_{coli.term,vert}}{S_a \cdot C_0/C_T}$$

$C_{coli.term,vert}$ es la densidad máxima de coliformes termotolerantes en las aguas residuales tratadas.

S_a es la dilución inicial calculada según el capítulo IV.3.2.

C_0/C_T es el factor de dispersión horizontal que está en función del régimen de corrientes locales y la dispersión turbulenta, según Brooks (1960) se calcula con:

$$\frac{C_0}{C_T} = \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{13 \cdot T_t}{b^{2/3}}\right)^3 - 1}{1,5}}$$

b es el ancho de la pluma emergiendo a la superficie, el cual se puede calcular con la ecuación indicada anteriormente.

T_t es el tiempo de transporte desde la zona de vertimiento hasta el límite de zona sensible en horas, que se determina según lo detallado anteriormente.

1.25.3 Determinación de la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes

La tasa de desaparición de coliformes termotolerantes (T_{90}) es el intervalo de tiempo, en horas, requerido para la desaparición del 90% de los organismos remanentes. Muchos estudios de T_{90} indican un valor entre 1,0 y 3,0 horas. Los valores determinados para aguas relativamente cálidas han sido consistentemente menores que para aguas más frías. Sin embargo, el T_{90} no es constante sino varía considerablemente en función de la radiación solar (determinada por el ángulo solar, la cobertura nubosa, la profundidad y los sólidos en suspensión que influyen sobre la transparencia), de la temperatura y la salinidad del agua. Para la determinación del T_{90} de coliformes termotolerantes se recomienda la siguiente ecuación propuesta por Mancini (1978) y adaptada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España (1993), que es aplicable para cuerpos receptores con una salinidad mayor que 30 g/L.

$$T_{90} = \frac{1}{\xi/60 \cdot (1-0,65 \cdot C^2) \cdot (1 - SST/800) + 0,02 \cdot 10^{(T-20)/35}}$$

donde:

ξ es el ángulo del sol sobre el horizonte, en grados sexagesimales (noche: 0°; mediodía: 90°).

C es la fracción del cielo cubierto por nubes, en tantos por uno (sin nubes: 0; cielo cubierto: 1).

SST es la concentración promedio de sólidos en suspensión, en mg/L.

T es la temperatura del agua, en °C.

Con esta ecuación se puede calcular valores de T_{90} horarios para determinadas características del cuerpo marino y de radiación solar.

Para la evaluación de un potencial impacto en una zona de actividades recreativas de contacto primario, se considera las características del cuerpo marino y de radiación solar de la temporada de playa (verano).

De forma ejemplar para la estación de verano se puede suponer una temperatura de 19 °C, cielo sin cobertura de nubes ($C = 0$) y una concentración de Sólidos Suspendedos de 50 mg/L. Con estos parámetros obtenemos los siguientes T_{90} variables en función del ángulo del sol sobre el horizonte y la hora de día:

directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa. Áreas restringidas son áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados.

Hora	ξ	T_{90}	$1/T_{90}$
18:00	0	53,4	0,019
19:00	0	53,4	0,019
20:00	0	53,4	0,019
21:00	0	53,4	0,019
22:00	0	53,4	0,019
23:00	0	53,4	0,019
00:00	0	53,4	0,019
01:00	0	53,4	0,019
02:00	0	53,4	0,019
03:00	0	53,4	0,019
04:00	0	53,4	0,019
05:00	0	53,4	0,019

Hora	ξ	T_{90}	$1/T_{90}$
06:00	0	53,4	0,019
07:00	15	4,0	0,253
08:00	30	2,1	0,487
09:00	45	1,4	0,722
10:00	60	1,0	0,956
11:00	75	0,8	1,191
12:00	90	0,7	1,425
13:00	75	0,8	1,191
14:00	60	1,0	0,956
15:00	45	1,4	0,722
16:00	30	2,1	0,487
17:00	15	4,0	0,253

En la tabla antecedente, se puede observar la gran influencia de la radiación solar sobre la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes, resultando en un T_{90} de 53,4 horas en la noche y 0,7 horas a mediodía. Considerando esta variabilidad horaria de la tasa de desaparición, se calcula el T_{90} medio para un periodo que corresponde al tiempo de transporte desde la zona de vertimiento hasta el límite de zona sensible (T_t), iniciando con la hora de puesta del sol (18:00 h) mediante la siguiente ecuación:

$$T_{90, \text{medio}} = \frac{T_t}{1/T_{90,18h} + 1/T_{90,18h+1} + \dots + 1/T_{90,18h+T_t}}$$

donde:

- $T_{90,18h}$ es la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes a las 18:00 horas.
- $T_{90,18h+1}$ es la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes a las 18:00+1 horas.
- representa todos los recíprocos de los T_{90} entre las 18:00+1 y 18:00 + T_t horas.
- $T_{90,18h+T_t}$ es la tasa de desaparición de coliformes termotolerantes a las 18:00+ T_t horas.
- T_t tiempo de transporte, en horas.

Esta metodología de cálculo del T_{90} considera que las aguas residuales tratadas son vertidas en la noche y transportadas por la corriente marina hacia la zona de impacto en las condiciones ambientales menos favorables en términos de desaparición de coliformes (13 horas sin radiación solar). Sin embargo, superado las 13 horas de permanencia en el cuerpo receptor, el T_{90} baja rápidamente, dado que se puede considerar la radiación en las horas de día. Bajo tales condiciones obtenemos los siguientes T_{90} en función del tiempo de transporte T_t :

T_t	T_{90} (promedio)
≤ 13 horas	53,4
16 horas	9,4
18 horas	4,7
24 horas	2,7

Para la evaluación de un potencial impacto en una zona de producción y extracción de moluscos u otras especies hidrobiológicas se deberá considerar las características del cuerpo marino y de radiación solar de la estación de invierno, dado que son actividades que se realizan durante todo el año y las condiciones ambientales de invierno son las menos favorables en términos de desaparición de coliformes (alto grado de cobertura del cielo por nubes y bajas temperaturas del agua). De forma ejemplar se supone los siguientes valores: $T = 15^\circ\text{C}$ y $C = 1$; SST = 50 mg/L. Con estos parámetros y aplicando la metodología descrita en lo anterior, se obtiene los siguientes T_{90} medios en función del tiempo de transporte T_t :

T_t	T_{90} (promedio)
≤ 13 horas	69,5
16 horas	22,1
18 horas	12,1
24 horas	7,3

Considerase, que los valores de T_{90} indicados son ejemplares y, por lo tanto, el T_{90} deberá ser determinado para cada caso y las condiciones ambientales específicas de la zona de estudio, considerando particularmente el tiempo de transporte mínimo desde el vertimiento hasta el límite de la zona sensible.

1.25.4 Determinación de la densidad de coliformes termotolerantes en el límite de la zona sensible

La probable densidad de coliformes termotolerantes en el límite de la zona sensible a patógenos puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$C_{T_t} = \frac{C_{\text{Coli.term,vert}}}{S_a \cdot C_0 / C_T \cdot 10^{\left(\frac{T_t}{T_{90}}\right)}}$$

donde:

- C_{T_t} es la densidad de los coliformes termotolerantes en el límite de la zona sensible, en NMP/100mL.
- $C_{\text{coli.term,vert}}$ es la densidad máxima de coliformes termotolerantes en las aguas residuales tratadas, en NMP/100 mL.
- S_a es la dilución inicial calculada según el capítulo IV.3.2.
- C_0/C_T es el factor de dispersión horizontal determinado según el numeral IV.4.2.
- T_t es el tiempo de transporte, en horas, desde el vertimiento hasta el límite de la zona sensible, determinado según el numeral IV.4.1.
- T_{90} es la tasa de desaparición de los coliformes termotolerantes, en horas, determinada según el numeral IV.4.3.

1.26. Criterios para el control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua

En lo siguiente se describen los criterios generales para establecer el programa de control de los impactos del vertimiento en los cuerpos naturales de agua, el cual comprende la determinación de las cargas contaminantes en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial:

- La ubicación del punto de control de las cargas de las aguas residuales tratadas es seleccionada de modo que permita la caracterización del efluente vertido y la toma de muestra en condiciones seguras. De ser necesario se preverá la instalación de una caja de registro, válvula de muestreo u otro dispositivo conforme con el protocolo de monitoreo establecido por el sector competente entre la salida de la planta de tratamiento y el punto de vertido, que permita el fácil acceso y la toma de muestra de las aguas residuales tratadas.
- Los puntos de control del cumplimiento de los ECA-Agua, estarán ubicados en el límite de la zona de mezcla en el cuerpo receptor, considerando los siguientes criterios:
 - Por lo menos cuatro puntos en las cuatro direcciones alrededor de emisor submarino u otro dispositivo de descarga en el límite de la zona de mezcla determinada mediante la modelación numérica, o en su defecto en una distancia horizontal del difusor no mayor de 100 metros. Para una mejor orientación en la toma de muestra, el inicio y final de emisor deberá contar con una boya de señalización.
 - La toma de muestra debería ser realizada en las siguientes profundidades:
 - Para aguas residuales tratadas de menor densidad que las aguas marinas (aguas residuales generadas en el uso de agua dulce como las aguas residuales doméstica-municipales):
 - Cuerpo de agua sin estratificación vertical de la densidad (característica de los cuerpos marino-costeros del centro y sur del Perú): en la superficie.
 - Cuerpo de agua con estratificación vertical de la densidad (característica de cuerpos marino-costeros del extremo norte del Perú, estuarios o en la proximidad de desembocaduras de ríos o

canales de agua dulce): en la superficie y adicionalmente en la profundidad que corresponde a la altura máxima del ascenso de la pluma de aguas residuales (punto de emergencia del efluente).

- Para aguas residuales tratadas de igual densidad que las aguas marinas (aguas residuales generadas en el uso de aguas saladas): en la superficie, en el fondo a 50 cm del sustrato y, en caso de puntos con más de 10 metros de profundidad, también a la mitad de la columna de agua (H/2).
 - Para aguas residuales de mayor densidad que las aguas marinas: aprox. 0,5 m sobre el fondo de mar y, cuando las aguas residuales tratadas contienen aceites y grasas y/o hidrocarburos de petróleo, adicionalmente en la superficie.
 - En caso de vertimientos al mar de aguas residuales tratadas que contienen patógenos (aguas residuales doméstico-municipales o agroindustriales), se prevé varios puntos ubicados en el límite de las zonas sensibles, tales como las zonas de cultivo y extracción de moluscos y las zonas de actividades recreativas. La toma de muestra deberá ser realizada en la superficie del cuerpo de agua marino-costero. Sin embargo, en el caso de zonas de cultivo y extracción de moluscos y un cuerpo de agua con estratificación vertical de la densidad, la toma de muestra debe ser realizada en la superficie, y adicionalmente en la profundidad que corresponde a la altura máxima del ascenso de la pluma de aguas residuales (punto de emergencia del efluente).
 - En el caso del vertimiento de aguas de alta temperatura ($T > 35^{\circ}\text{C}$), como las aguas de refrigeración de plantas termoeléctricas, las salmueras de los procesos de desalinización de agua marina mediante la tecnología de destilación multi-etapa (multi-stage flash distillation - MFS), se deberá establecer un punto adicional fuera del área de influencia del vertimiento (en una distancia de aproximadamente 500 metros de la zona de mezcla) donde se determinará la temperatura del agua en condiciones naturales. El valor determinado será comparado con las mediciones realizadas en el límite de la zona de mezcla con el criterio $\Delta T_{\text{Temp}} \leq 3^{\circ}\text{C}$.
 - En el caso que una misma persona natural o jurídica tenga varios vertimientos autorizados a un mismo cuerpo receptor y las zonas de mezcla se sobreponen o están muy próximas, se podrá establecer puntos de control únicos para los diferentes vertimientos, pues el responsable por los potenciales impactos de los diferentes vertimientos es la misma persona. Si los vertimientos son de titulares diferentes, los puntos deberán ser establecidos individualmente para cada vertimiento y la zona de mezcla no podrá sobreponerse pues los puntos de control deben permitir el monitoreo del impacto de cada actividad individual. Esto es una necesidad administrativa para poder establecer la responsabilidad de cada titular de una autorización de vertimiento, dado que no es aceptable que potenciales impactos negativos sean imputados a personas que no los ocasionaron. Aquellas empresas que se encuentran en la situación de tener vertimientos muy próximos y requieran reducir el número de los puntos de control estableciendo puntos de control únicos para los diferentes vertimientos, podrían conformar un consorcio u otra persona jurídica que será titular único de todos los vertimientos y asumirá la responsabilidad para eventuales impactos ambientales negativos. El marco legal para los administrados del sector pesquero brinda la opción de formarse consorcios e instalar emisores compartidos.
- Los parámetros de control en el cuerpo receptor comprenden los parámetros de campo (pH y temperatura), los parámetros recomendados para las diferentes actividades y categorías ECA-Agua del cuerpo de agua natural en la Tabla N° 2, capítulo 1.2, y adicionalmente sustancias químicas usadas y generadas en el proceso productivo y sus posibles productos de reacción o degradación, que están indicados en los ECA-Agua, en la categoría correspondiente. Los parámetros microbiológicos⁴⁴ no deberán ser controlados en el límite de la zona de mezcla, sino en el límite de las zonas sensibles a la contaminación microbiológica.
 - Los parámetros de control en el efluente deberían ser coherentes, tratando en lo posible que sean los mismos que en el cuerpo receptor. Asimismo, debe considerarse los parámetros para los cuales el sector correspondiente haya definido un Límite Máximo Permisible.



⁴⁴ Coliformes termotolerantes en el límite de zonas de producción y extracción de moluscos u otras especies hidrobiológicas; Coliformes termotolerantes y Enterococos en el límite de zonas de actividades recreativas.

- Para poder determinar la carga contaminante en el efluente vertido al cuerpo natural de agua, se deberá determinar en cada toma de muestra el caudal de las aguas residuales tratadas vertidas mediante el dispositivo de medición instalado⁴⁵ o en su defecto mediante una metodología manual (correntómetro, balde o flotador). El caudalímetro o el dispositivo de medición del caudal deberá ser instalado en la caja de registro o en proximidad de la válvula de muestreo y debe permitir la medición del caudal total de las aguas residuales tratadas vertidas al cuerpo receptor.
- Cabe precisar que la toma de muestra de las aguas residuales a caracterizar (tratadas o no tratadas) debería realizarse en conformidad con los protocolos de monitoreo publicados por el sector correspondiente; y, los puntos de control en el cuerpo receptor serán muestreados según R.J. N°010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales".
- La frecuencia de control del efluente y de la calidad del cuerpo natural de agua será determinada en función del caudal de aguas residuales tratadas vertidas:

Volumen anual (m ³)	Nº de monitoreos por año*	Frecuencia de control*
< 300 000	1	Anual
300 000-3 000 000	2	Semestral
>3 000 000-9 000 000	4	Trimestral
>9 000 000	12	Mensual

(*) En el caso de vertimientos realizados por actividades estacionales, el número total de los monitoreos indicados en la tabla anterior deberán ser realizados en el periodo de producción con una frecuencia regular (Ejemplo: Actividad con 4 meses de producción y 400 000 m³ de volumen anual de aguas residuales => 2 monitoreos con frecuencia bimensual a realizarse en el periodo de producción).

En el caso que las normas ambientales sectoriales⁴⁶ establecen una frecuencia de control más alta, el programa de control deberá ser conforme a las mismas.

En el caso del vertimiento de aguas residuales con carga de patógenos, la calidad sanitaria del agua en el límite de las zonas de actividades recreativas de contacto primario deberá ser controlada en los meses de temporada de baño solamente.

- Cabe precisar, que la toma de muestra del cuerpo natural de agua y del agua residual, debería ser realizada en la misma fecha.

I.27. Evaluación de vertimientos en curso y en fase de adecuación a los ECA-Agua

Los titulares de actividades que cuentan con un Instrumento de Gestión Ambiental aprobado por la autoridad competente y que requieren adecuar sus Planes de Manejo Ambiental a los ECA-Agua en

⁴⁵ El Artículo 136° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos sobre la "Medición y control de vertimientos", indica que es responsabilidad del administrado instalar sistemas de medición de los caudales del agua residual tratada y reportar los resultados de la medición.

⁴⁶ Véase:

- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACIÓN Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES (2000) "Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI, aprueba el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos" del sector Industria.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2016) "Resolución Ministerial N° 061-2016-PRODUCE, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto".
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2013) "Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR".
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2010) "Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas"; que dispone que hasta la entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se deberá aplicar la frecuencia de monitoreo establecida en el art. 7° de la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1996).

conformidad a lo establecido en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, podrán aplicar el presente Lineamiento según el siguiente detalle:

1. Recopilación de todos los datos disponibles del control del vertimiento y evaluación de las concentraciones medidas en el cuerpo receptor que cumplan con los ECA-Agua de la categoría correspondiente. En el caso, que esta evaluación demuestre que el vertimiento no causa ningún incumplimiento de los ECA-Agua asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad (véase tabla 2, capítulo I.2), no se deberá realizar evaluaciones adicionales.
2. En el caso, que se haya encontrado incumplimientos de los ECA-Agua, se deberá suponer una de las dos siguientes condiciones que deberían ser comprobadas con las metodologías propuestas en el presente Lineamiento:

- 2.1 Los puntos de control de la calidad del cuerpo receptor están ubicados al interior de la zona de mezcla y no son válidos para controlar el cumplimiento de los ECA-Agua⁴⁷.

Se determina la extensión máxima de la zona de mezcla, recopilando la información requerida para la evaluación del impacto de un vertimiento en un cuerpo natural de agua marino-costero detallada en el capítulo IV.2 y elaborando posteriormente uno de los modelos numéricos indicados en el capítulo IV.3.2.1, y se comprueba que los puntos de control estén ubicados fuera de la zona de mezcla. En el caso contrario, se propone la reubicación de los puntos de control establecidos.

- 2.2 La dilución inicial mínima $-S_a-$ proporcionada por el dispositivo de descarga actual es menor que la dilución requerida $-S_{max}-$:

$$S_a \leq S_{max}$$

Donde S_{max} podrá ser determinado según lo indicado en el capítulo IV.3.1 para aquellos parámetros de los cuales se ha encontrado incumplimientos de los ECA-Agua correspondientes.

S_a podrá ser determinado con un modelo numérico según lo indicado en el numeral IV.3.2.1.

En el caso que el dispositivo de descarga actual no proporcione una dilución inicial suficiente, es decir: $S_a < S_{max}$, se deberá reconsiderar el diseño del dispositivo de descarga, previendo por ejemplo la construcción de un emisor submarino o, cuando este ya existe, incrementando el número de orificios, el espacio entre ellos, la longitud del emisor para lograr una mayor profundidad de descarga o, en su defecto, disminuyendo el diámetro de los orificios, entre otras opciones de diseño. En caso que el cuerpo receptor tenga una baja capacidad de asimilación, ya que se encuentra afectado por otras fuentes de contaminación, se recomienda evaluar la reubicación del dispositivo de descarga a través de un emisor más largo. Alternativamente, se podrá prever mecanismos que permiten reducir el caudal o las concentraciones del efluente considerando por ejemplo: la implementación de tecnologías limpias que reduzcan el volumen y/o la carga de las aguas residuales generadas, el reúso/recirculación parcial o total de las aguas residuales o modificando el proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales, incrementando su eficiencia de remoción de los parámetros críticos.

3. En el caso que se haya observado incumplimientos de los ECA-Agua de los parámetros microbiológicos se debería realizar la evaluación específica (método del T_{90}) indicada en el capítulo IV.4. En función del resultado de esta evaluación se debería proponer las siguientes medidas:

- 3.1 En el caso que los parámetros microbiológicos fueron evaluados en el límite de la zona de mezcla, se podrá proponer la reubicación de los puntos de control de la contaminación microbiológica, estableciendo varios puntos en el límite de las zonas sensibles, tales como las zonas de cultivo y extracción de moluscos y las zonas de actividades recreativas.

⁴⁷ Véase el artículo 5 del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM - Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua: "En aquellos cuerpos de agua utilizados para recibir vertimientos de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua deberá verificar el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla..."

3.2 En el caso que la evaluación indique un riesgo de impactos en las zonas sensibles identificadas, será necesario alargar el emisor submarino para aumentar la distancia del difusor de la zona sensible e incrementar el tiempo de transporte o, alternativamente, reducir la carga microbiológica del vertimiento proyectando los sistemas de tratamiento correspondientes.



[Handwritten signature]





V. ANEXOS

ÍNDICE DE LA PARTE V

V.1. Glosario de términos	82
V.2. Bibliografía	88



A handwritten signature in blue ink.

I.28. Glosario de términos

Administrado: Persona natural o jurídica que presenta ante la autoridad competente la solicitud de aprobación del instrumento de gestión ambiental o autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas.

Afluente: Agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales o proceso de tratamiento.

Agua de bombeo: Es el agua de mar empleada en el trasvase de materia prima desde la chata a la planta de procesamiento.

Agua de cola: Fracción líquida obtenida en la industria de harina y aceite de pescado del proceso de filtración y prensado de la materia prima después de haber eliminado gran parte de los sólidos en suspensión y de la materia grasa. El agua de cola, proveniente de las centrifugas del proceso, es tratada en plantas evaporadoras, cuyo objetivo, como su propio nombre lo dice, es evaporar los líquidos, a fin de concentrar los finos sólidos suspendidos y disueltos; este soluble es adicionado al proceso en la etapa de secado.

Agua de la Columna Barométrica: Es el agua de mar utilizada para efectuar vacío en la torre barométrica de las plantas evaporadoras de agua de cola. El agua de mar permanece limpia ya que no ha tomado contacto con ninguna materia prima. Luego de cumplir su función de enfriar, su temperatura es de 28°C a 35°C que se disipa rápidamente en el medio.

Aguas de transición: Masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce.

Agua salina: Agua que se encuentra en los océanos y mares, incluye las aguas de transición.

Agua salobre: Agua de los acuíferos o estuarios caracterizada por su alta concentración de sales minerales disueltos, en cantidades mayores a la del agua dulce pero menores a la del agua salina.

Aguas continentales: Son cuerpos de aguas permanentes que comprenden las aguas superficiales dulces y subterráneas, situados hacia tierra.

Agua de Refrigeración: Aguas utilizadas en el proceso de generación de vacío o extracción de calor, que no entran en contacto con la materia prima utilizada en el proceso productivo ni ninguna otra sustancia o material contaminante que altere sus características originales, no supere los 35° C y que demande de un tratamiento específico para su disposición. No serán consideradas aguas residuales en tanto correspondan a esta definición, a excepción de los casos expresamente señalados en los instrumentos ambientales.

Aguas desalinizadas: Aguas obtenidas del proceso de extracción de las sales disueltas en el agua de mar, salinas o salobres, hasta alcanzar los valores aceptables para el requerimiento de un uso determinado.

Aguas marinas: Son cuerpos de agua que se encuentran en mares y océanos.

Aguas residuales domésticas: Aguas residuales de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (preparación de alimentos, aseo personal).

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

Aguas residuales municipales: Aguas residuales domésticas que pueden incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial recolectadas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

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

Agua Turbinada: Son aquellas procedentes de un cuerpo de agua que han sido aprovechadas para la generación hidroeléctrica que no requieren de una modificación de su estado natural, ni la adición de elementos que alteren dicho estado. En atención a sus características no son consideradas aguas residuales industriales ni efluentes.

Arroyo: Corriente natural de caudal corto de agua casi continuo.

Bahía: Entrada del mar en la costa, de extensión considerable que por sus características morfológicas, el largo reducido de la bocana de ingreso a la bahía en relación a las dimensiones de la misma, permite la renovación de sus aguas principalmente durante las mareas ascendentes y descendentes y aquellas cuyas velocidades de las corrientes marinas son predominantemente menores o iguales a 5 cm por segundo.

Caja de registro: Pozo de inspección y medición incluido en el tramo terrestre del emisor por donde pasan uno o más efluentes a su destino final.

Calibración: Calibración de instrumentos: comparación de la lectura de un instrumento generado por un patrón o estándar conocido con el objetivo de realizar los ajustes que eliminan desviaciones o desajustes instrumentales. Calibración de modelos de simulación de la calidad del agua: La calibración es el ajuste iterativo de las constantes de las ecuaciones matemáticas, hasta que el modelo simule los datos medidos con un margen de error mínimo.

Caracterización ambiental: Es la descripción del ambiente en los aspectos físicos, químicos, biológicos, entre otros.

Carga contaminante: Es la masa de una sustancia o el número de individuos microbiológicos contenido en un volumen de agua que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo. La carga contaminante es determinada multiplicando la concentración de la sustancia o la densidad de individuos microbiológicos por el caudal de agua, determinado en el momento de la toma de muestra.

Caudal medio anual: Es el promedio de los caudales en un período de un año.

Caudal medio diario: Es el promedio de los caudales en un período de un día.

Caudal medio horario: Es el promedio de los caudales en un período de una hora.

Caudal: Es el volumen de agua que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.

Chata: Muelle flotante, de fondo plano, que sirve para la descarga de la materia prima de la industria de harina y aceite de pescado.

Ciclo hidrológico: El ciclo hidrológico, también conocido como ciclo del agua, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada de un cuerpo de agua retorna después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea.

Ciclo de oxígeno: Procesos químicos, físicos y biológicos que determinan las concentraciones de oxígeno disuelto en un cuerpo natural de agua, los cuales son: consumo de oxígeno por oxidación microbológica de carbono orgánico, reaeración en la superficie del cuerpo de agua, nitrificación, desnitrificación, sedimentación, producción y respiración de oxígeno por algas, dilución por tributarios y consumo bental de oxígeno.

Ciclo de nitrógeno: Procesos químicos, físicos y biológicos que determinan las concentraciones de nitrógeno en sus diferentes formas en un cuerpo natural de agua, los cuales son: hidrolisis, nitrificación, desnitrificación, sedimentación, asimilación en algas, dilución por tributarios y descomposición de materia orgánica en los sedimentos.

Conductividad: Es un parámetro que mide la cantidad de iones disueltos en el agua, el cual se expresa en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Cuenca hidrográfica: Territorio cuyas aguas superficiales naturales afluyen todas a un mismo río, lago o mar.

Cuerpo de agua natural lentico: Son cuerpos de aguas continentales caracterizados por bajas velocidades de corrientes y altas frecuencias de intercambio del volumen almacenado, cuales lagos, lagunas, embalses, entre otros.

Cuerpo de agua natural lotico: Son cuerpos de aguas continentales caracterizados por corrientes unidireccionales continuas, cuales ríos, quebradas, entre otros.

Cuerpo de agua natural marino-costero: Son cuerpos de agua que se encuentran en mares y océanos.

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

Cuerpo receptor: Cuerpo natural de agua continental o marino-costero que recibe el vertimiento de aguas residuales tratadas.

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

DBO soluble: Ensayo de DBO determinada en una muestra que ha sido sometida a filtración.

DBO última: Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica en el largo plazo (generalmente 20 días a 20°C con inhibición de la nitrificación).

Desembocadura: Es la parte más baja de un cuerpo de agua (quebrada, río), donde vierte sus aguas a un lago o mar.

Dinámica: Es el proceso por el que la acción de los ríos modifica de alguna manera el relieve terrestre y el propio trazado. Es un concepto fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas continentales.

ECA-Agua: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Efluente: Agua residual tratada o líquido que sale de una planta o proceso de tratamiento.

Embalse: Gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa y en el que se almacenan aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarla en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía.

Emisor submarino: Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pretratadas en el mar.

Época de avenida: Mes del año en el cual el caudal mensual medio llega a su máximo.

Época de estiaje: Mes del año en el cual el caudal mensual medio llega a su mínimo.

Equipo Multiparamétrico: Instrumento que puede medir simultáneamente varios parámetros como pH, temperatura, conductividad, SDT y Oxígeno disuelto.

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

Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua: Es el nivel de concentración máximo de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en los recursos hídricos superficiales; que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Estero: Canal angosto y somero por donde ingresan y salen las mareas a un río.

Estoa de corriente: Es el instante en que la corriente asociada a la marea se anula.



Estuario: Parte más ancha y profunda en la desembocadura de los ríos, en los mares abiertos o en los océanos, en aquellas áreas donde las mareas tienen mayor amplitud u oscilación.

Estudio de Impacto Ambiental (EIA): Estudio que evalúa y describe las características físicas, químicas y biológicas y socio económicas existentes en el área de influencia del proyecto previas a la ejecución de la actividad; identificando los impactos y las medidas de mitigación a aplicar una vez iniciadas las actividades de producción, a fin de lograr el desarrollo sostenible de la actividad en armonía con la protección del ambiente.

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

Frecuencia de control: Es la periodicidad del monitoreo de la carga contaminante en el efluente y de la calidad del cuerpo natural receptor del vertimiento.

Hidro-oceanográficas: Son los procesos biológicos, físicos, geológicos y químicos que se dan en los mares y en los océanos.

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

Hidrografía: Descripción y estudio sistemático de los diferentes cuerpos de agua planetarios, en especial, de las aguas continentales. En el estudio de las aguas continentales, las características hidrográficas más importantes de los ríos, son el caudal, cuenca, vertiente hidrográfica, cauce o lecho, régimen fluvial, régimen, dinámica fluvial, erosión, sedimentación fluvial, tipos de valles y pendientes.

Impactos visuales no deseados: presencia de película visible de aceites y grasas (en categorías ECA-Agua 4 y 1-B1), hidrocarburos de petróleo visibles (en categoría ECA-Agua 2), presencia de materiales flotantes (en categoría ECA-Agua 1) y cambio anómalo del color del agua (en categorías ECA-Agua 1-B1 y 1-B2).

Índice de intercambio de agua: Corresponde al caudal anual medio en la salida de la laguna y lago. En el caso de un vertimiento a una bahía el índice de intercambio de agua corresponde al caudal anual medio de los ríos y quebradas tributarios a la bahía evaluada.

In-situ: En el lugar, en el sitio.

Instrumento de Gestión Ambiental: Mecanismos diseñados para posibilitar la ejecución de la política ambiental, sobre la base de los principios establecidos en la Ley. Constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario, para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país. Incluye, por ejemplo, Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y Planes de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

Laboratorio acreditado por INDECOPI: El laboratorio, que realiza los análisis de los parámetros de calidad a controlar, debe estar acreditado con la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025:2005 "Requisitos generales para la competencia de Laboratorios de ensayo y Calibración" y debe tener la acreditación por cada ensayo analítico realizado para la medición de los parámetros establecidos. Las acreditaciones deben ser emitidas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) o por organismos equivalentes que hayan concertado acuerdos de reconocimiento mutuo utilizando la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025:2005.

Lago: gran masa permanente de agua depositada en depresiones del terreno.

Laguna: depósito natural de agua, generalmente dulce y de menores dimensiones que el lago.

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



exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Línea de base: Caracterización del ambiente antes de la implementación del proyecto o actividad.

Mar: Masa de agua salada de tamaño inferior al océano.

Métodos normalizados: Comprobación de que el laboratorio domina el ensayo y lo utiliza correctamente.

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

Muestra simple o puntual: Es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra.

Muestras compuestas: Consiste en la toma de muestras de volúmenes iguales o de volúmenes proporcionales al caudal instantáneo, a intervalos específicos a lo largo de un periodo establecido. Las combinaciones de estas muestras forman muestras combinadas o compuestas.

Muestreo de agua: Es una herramienta del monitoreo. Su función básica es la extracción de una parte del cuerpo de agua para determinar sus características y condiciones actuales.

Orificio: Es la salida a través de la cual sale el agua residual del emisor submarino.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido que depende de la temperatura y la presión atmosférica, condicionante para el desarrollo de la vida acuática.

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

PPT: Parts Per Thousand, ingles para "Partes por Mil" es una unidad de medida de concentraciones correspondiente a 0,998859 gramos por litro (g/L).

Planta de tratamiento de aguas residuales: Infraestructura y procesos que permiten la reducción de las concentraciones de las sustancias y de las densidades de patógenos contenidos en las aguas residuales.

Preservante químico: Es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua hasta el momento del análisis.

Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA): Es un conjunto de métodos, medidas, procedimientos, acciones e inversiones que son necesarios para la incorporación de adelantos tecnológicos y científicos, a fin de reducir a niveles tolerables el impacto negativo al ambiente.

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

Punto de control: Representa aquel lugar definido por sus coordenadas geográficas y establecido en el Estudio de Impacto Ambiental o en la Autorización de Vertimiento o reúso en un cuerpo de agua o en un vertimiento de aguas residuales tratadas para llevar a cabo la evaluación de su calidad y cantidad, como parte de las actividades de fiscalización de vertimientos y/o reúsos de aguas residuales tratadas.

Punto de Monitoreo: Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad en un cuerpo natural de agua en forma periódica, en el marco de las actividades de vigilancia.

Quebrada, riachuelo y arroyo: Corriente natural de agua que normalmente fluye con continuidad, pero que, a diferencia de un río, tiene escaso caudal, que puede desaparecer durante el estiaje.

Quebrada: Hendidura de una montaña que en su fondo contiene una corriente natural de agua de caudal bajo, que puede desaparecer durante la época de estiaje.

Recurso hídrico: Recurso natural renovable que fluye en los cuerpos naturales de agua continental y marino. También son los bienes naturales asociados al agua, por ejemplo: los cauces de los ríos, playas, lechos y riberas, barriales, bienes artificiales como presas, canales, entre otras.



Handwritten initials 'EE' in blue ink.

Reuso de agua residual tratada: Reutilización de aguas residuales, previamente tratadas, resultantes de las actividades antropogénicas.

Riachuelo: Río pequeño y de poco caudal.

Río: Corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado y desemboca en el mar, en un lago o en otro río.

Salmueras: Aguas residuales generadas como producto del proceso de desalinización de agua, caracterizadas por su alto contenido de sales.

Sólidos Totales Disueltos: es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua por unidad de medida volumétrica, medida generalmente en gramos por litro (g/L). La determinación de sólidos disueltos totales mide gravimétricamente la masa total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños) que quedan como residuo al evaporar el agua y secar el residuo.

Tasa de desoxigenación carbonácea: Se refiere a la degradación de la materia orgánica carbonácea, como resultado del proceso de oxidación húmeda que se lleva a cabo mediante los microorganismos presentes.

Tasa de reaeración del río: La reaeración puede definirse como el proceso de absorción del oxígeno atmosférico por parte del agua en movimiento.

Transecto: Es una banda de puntos de muestreo en los cuales se toman los datos definidos previamente.

Tratamiento primario: Tipo de tratamiento que remueve los materiales sedimentables y materia flotante persistente, usando tratamiento físico o físico-químico. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción).

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

Tratamiento terciario: Tipo de tratamiento que reduce las concentraciones de contaminantes específicos a niveles inferiores que los alcanzables con el tratamiento secundario. Frecuentemente se prevé tratamiento terciario para la remoción de fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, bacterias, parásitos, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más costoso que los anteriores y se usa en casos especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias o para tratar aguas residuales que son vertidas a cuerpos de agua altamente sensibles o son reusadas en la acuicultura, agricultura o riego de jardines y parques.

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency).

Validación: La validación de modelos de simulación de la calidad del agua es la comprobación si el modelo es capaz de simular, con un margen de error mínimo, la calidad del agua en condiciones de entorno diferentes a aquellos utilizados para la calibración del modelo, usando los resultados medidos en campo en diferentes condiciones climatológicas e hidráulicas.

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 las provenientes de naves y artefactos navales.

Vertimiento de salmueras: Descarga de aguas con alto contenido de sales disueltas, a un cuerpo natural de agua, que se obtienen como resultado del proceso de desalinización. Son consideradas aguas residuales, por lo que su vertimiento, previo tratamiento, requiere de autorización.

Vertimiento: En este documento el término "vertimiento" se refiere a la descarga de aguas residuales tratadas.

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

I.29. Bibliografía

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (2010) "Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA – Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros", Perú.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (2013) "Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA – Aprobación del nuevo Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimientos y Reúsos de Aguas Residuales Tratadas", Perú.

BAUMGARTNER D.J., FRICK W.E. and ROBERTS P.J.W. (1994) "Dilution Models for Effluent Discharges - Third Edition", EPA/600/R-94/086, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC.

BLENINGER T., JIRKA G. H. (2010) "Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants - Final report", Middle East Desalination Research Center, Muscat, Sultanate of Oman.

BROOKS, N. H. (1960) "Diffusion of sewage effluent in an ocean current, Preceedings, First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment", University of California, Berkeley, Pergamos Press, NY.

BROOKS, N.H. (1970) "Conceptual design of submarine outfalls, Hydraulic design of diffusers", Program VIII, Pollution of Coastal and Estuarine Waters, University of California, Berkeley.

BROOKS, N. H. (1973) "Dispersion in Hydraulic and Coastal Environments", Report No. 66013-73-010, U. S. Environmental Protection Agency.

CAMERON J.O. (2012) "Near field mixing of negatively buoyant jets", University of Canterbury, Department of Civil and Natural Resources Engineering, Christchurch, New Zealand,.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE & SEI (2009) "Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada por Centro de Cambio Global de la Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute (SEI) con contribuciones del PACC (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador), Ministerio del Ambiente de Ecuador, y PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo) de la Universidad de Cuenca, Ecuador.

CEPIS & ISCTN (2005) "RIOS EP" Elaborado por: Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Cuba (ISCTN). Judith Dominguez, Anel Hernandez (programador), Jorge Borroto y CEPIS-SB/SDE Henry Salas.

CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. AND TAO, H. (2006) "QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and User's Manual", Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J. (2008) "QUAL2Kw: User Manual (version 5.1) A modelling framework for simulating river and stream water quality", Environmental Assessment Program Olympia, Washington State Department of Ecology, Washington.

CIGEA (1998) "Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante", Agencia de Medio Ambiente, La Habana.

COMISIÓN EUROPEA (2010) "Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla en aplicación de lo dispuesto en el artículo 4, apartado 4, de la Directiva 2008/105/CE", Comisión Europea, Bruselas.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2007) "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento - Guía para el diseño de emisores submarinos", CONAGUA, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

DAWOUD M.A. y AL MULLA M.M. (2012) "Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study", International Journal of Environment and Sustainability Vol. 1 No. 3 pp. 22-37, Abu Dhabi y Dubai.

DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007), "Manual para la gestión de vertidos - Autorización de vertido", Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

ENDRIZZI, S., TUBINO, M., UND ZOLEZZI, G. (2002) Lateral Mixing in meandering channels: a theoretical approach", Proceedings River Flow 2000, International Conference on Fluvial Hydraulics, Bousmar, D. and Zech, Y., Ed. s, Louvain-La-Neuve, Bélgica.

FISCHER, H. B., LIST, E. J., KOH, R. C. Y., IMBERGER, J. y BROOKS, N. H. (1979) "Mixing in Inland and Coastal Waters", Academic Press, New York.

FRICK W.E., ROBERTS P.J.W., DAVIS L.R., KEYES J., BAUMGARTNER D.J., GEORGE K.P. (2003) "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)", EPA document nº EPA/600/R-03/025, Ecosystems Research Division, National Exposure Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

GUTIÉRREZ DÍAZ, J. (2009) "Metodología: descargas de aguas residuales y autodepuración de corrientes superficiales, modelo simple de OD-DBO (STREETERPHELPS)", Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), La Habana.

HYDROSCIENCE (1971) "Simplified mathematical modeling of water quality", U.S. Environmental Protection Agency, Mitre Group. Hydroscience, Inc. Westwood, NJ, USA, Donald J. O'Connor, Robert V. Thoman, John L. Mancini, and Henry J. Salas

HYDROSCIENCE (1972) "Addendum to simplified mathematical modeling of water quality", U.S. Environmental Protection Agency, Mitre Group. Hydroscience, Inc. Westwood, NJ, USA, Henry J. Salas Donald J. O'Connor, Robert V. Thoman, John L. Mancini.

JIRKA H. G., DONEKER L. R. y HINTON W. S. (1996) "User's Manual for CORMIX: a Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters", Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

JIRKA H. G. (2003) "Integral Model for Turbulent Buoyant Jets in Unbounded Stratified Flows. Part I: Single Round Jet", Environmental Fluid Mechanics 4 pg. 1-56, Países Bajos.

JIRKA G. H., BLENINGER T., BURROWS R., AND LARSEN T. (2004) "Environmental Quality Standards in the EC-Water Framework Directive: Consequences for Water Pollution Control for Point Sources", European Water Management Online (EWMO).

JIRKA H. G. y DONEKER L. R. (2007) "User's Manual for CORMIX: a Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters", EPA document nº EPA-823-K-07-001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

LUDWIG, R. (1988) "Evaluación del Impacto Ambiental. Ubicación y diseño de emisores submarinos", MARC report 43. Monitoring and Assessment Research Center & World Health Organization. London. Traducido por Salas, H. Lima. CEPIS.

MANCINI, J.L. (1978) "Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions", Journal of the Water Pollution Control Federation, Nov 1978, pg. 2477-2484.

MARKS B.J. (1996) "Initial Dilution of a Horizontal Jet in a Strong Current", Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

METCALF y EDDY, Inc. (1996) "Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización", McGraw-Hill, México.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1996) "Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, aprueba los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos para las actividades minero –metalúrgicas", Perú.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1994) "Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA, Guía de Monitoreo de Agua y Aire para la Actividad minero-metalúrgica" publicado por el Ministerio de Energía y Minas

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO, INTEGRACIÓN Y NEGOCIACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES (2000) "Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI, aprueba el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos" del sector Industria, Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2008) "Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM - Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua", Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2009) "Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM - Aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua", Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2010) "Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM - Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas", Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2014) "Resolución Ministerial N° 031-2014-MINAM, dispone la publicación del Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas Desalinizadoras", Perú.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2016) "Resolución Ministerial N° 061-2016-PRODUCE, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto", Perú.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2009) "Resolución Ministerial N° 181-2009-PRODUCE – Aprueban el documento "Guía para la actualización del Plan de Manejo Ambiental para que los titulares de los establecimientos industriales pesqueros alcancen el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles aprobados por Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE", Perú.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2009) "Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE - Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias", Perú.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES (1993) "Orden de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar", España.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2013) "Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR", Perú.

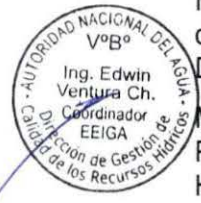
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2009) "Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario", Perú.

O'CONNOR, D.J. y DOBBINS, W.E. (1958) "Mechanisms of reaeration in natural streams", Journal of the Sanitary Engineering Division, transactions, ASCE, Vol. 103. pp. 641-684.

PALOMAR P. y LOSADA I.J. (2012) "Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool, Desalination, Trends and Technologies", Michael Schorr (Ed.), InTech, Rijeka, Croatia.

PAPPS D.A. (1995) "Merging Buoyant Jets in Stationary and Flowing Ambient Fluids", University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2008) "Directiva 2008/105/CE relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas", Estrasburgo.



PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS (2008) "Decreto Supremo N° 037-2008-PCM, establece los límites máximos permisibles de efluentes líquidos para el Subsector Hidrocarburos", Perú.

REPUBLIC OF SOUTH AFRICA, DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (2004) Water Quality Management Series, Sub-Series No. MS 13.3. Operational policy for the disposal of land-derived water containing waste to the marine environment of South Africa: Guidance on Implementation", Edition 1, Pretoria, Africa del Sur.

ROBERTS, P.J.W. (1977) "Dispersion of buoyant waste discharge from outfall diffusers of finite length", Rep.No. KH-R-35, W.M. Keck Lab. of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, CA, pp. 183.

ROBERTS, P.J.W. (1997) "Mixing in inclined dense jets", Journal of hydraulic engineering pp. 693.

ROBERTS, P.J.W., SALAS H., REIFF, F.M., LIBHABER, M., LABBE, A., THOMSON, J.C. (2010) "Design of Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems", IWA, ISBN: 9781843391890, pp 528.

RUTHERFORD, J. C. (1994) "River Mixing", John Wiley, Chichester, England.

SALAS, H. & MARTINO, P. (2001) "Metodologías simplificadas para la evaluación de lagos cálidos tropicales", Programa Regional del CEPIS-HEP-OPS 1981-1990, CEPIS, Lima, Perú.

SALAS, H. J. (1994) "Emisores submarinos: alternativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe", CEPIS.

SCHNURBUSCH, S.A. (2000) "A mixing zone guidance document prepared for the Oregon Department of Environmental Quality", Portland State University.

SEI (2011) "WEAP - Water Evaluation and Planning System, Tutorial, A collection of stand-alone modules to aid in learning the WEAP software", Stockholm Environment Institute.

SIERRA RAMÍREZ, C.A. (2011) "Calidad del Agua – Evaluación y diagnóstico", Universidad de Medellín y Ediciones de la U, Medellín, Colombia.

SOCOLOFSKY, S.A. y JIRKA, G.H. (2002) "Environmental Fluid Mechanics Part I: Mass Transfer and Diffusion - Engineering Lectures, 2nd Edition", Institut für Hydromechanik Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Alemania.

THE ENVIRONMENTAL POLLUTION PREVENTION PROJECT-EP3 (1996) "Prácticas recomendadas para mejorar la eficiencia de los procesos en la industria de harina de pescado". Arlington, Virginia, EEUU.

THOMANN, R.V. & MUELLER J.A. (1987) "Principles of Surface Water Quality Modelling and Control". Harper & Row, New York.

TSIVOGLU, E.C. y NEAL, L.A. (1976) "Tracer measurement of reaeration: III. Predicting the reaeration capacity of inland streams", Journal WPCF, Vol. 48, No. 12, pp. 2669-2689, 1976.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (2007) "Propuestas de mejora en el control de efluentes de una planta pesquera", Perú.

USEPA (1985) "Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modelling (second edition)", EPA document n° EPA/600/3-85/040, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.

USEPA (1990) "Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Single Port Discharges (CORMIX1)", EPA document n° EPA/600/3-90-012, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, Athens, GA.

USEPA (1991) "CORMIX2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Multiport Diffuser Discharges", EPA document n° EPA/600/3-91-073, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.



Handwritten initials or signature.

USEPA (1991) "Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control", EPA document n° EPA/505/2-90-001, Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA (1994) "Dilution Models for Effluent Discharges", EPA document n° EPA/600/R-94/086, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA (1994) "Water Quality Standards Handbook: Second Edition", EPA document n° EPA 823-B-94-005, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA (1995) "Mixing Zone and Dilution Policy", United States Environmental Protection Agency, Region VIII, Water Management Division, Denver, CO.

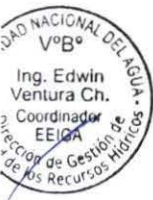
USEPA (1995) "Technical Guidance Manual for Performing Wasteload Allocations, Book II: Streams and Rivers – Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/Eutrophication", EPA Document N° EPA-823-B-97-002, Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA (2003) "Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes)", W.E. Frick, P.J.W. Roberts, L.R. Davis, J. Keyes, D.J. Baumgartner, K.P. George, EPA/600/R-03/025, March 2003 Athens, Georgia, 131pp.

USEPA (2006) "Compilation of EPA Mixing Zone Documents", EPA document n° EPA 823-R-06-003, Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

VOLLENWEIDER R.A., KEREKES J. (1982) "Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control.", Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD)

WRIGHT, S.J. (1984) "Buoyant jets in density stratified cross flow", J. Hydraulic. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 110:643-656 pp.



[Handwritten signature]





VI. EJEMPLOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA



ÍNDICE DE LA PARTE VI

VI.1. Vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas a una quebrada	95
VI.2. Vertimiento de aguas residuales municipales urbanas tratadas a un río	105
VI.3. Vertimiento de aguas residuales municipales tratadas a una laguna.....	123
VI.4. Vertimiento de aguas residuales municipales al mar	140
VI.5. Vertimiento de aguas residuales de origen minero-metalúrgico a una quebrada	164
VI.6. Vertimiento de aguas residuales de origen minero-metalúrgico a una laguna.....	183
VI.7. Vertimiento de aguas residuales de una curtiembre a una quebrada	205
VI.8. Vertimiento de aguas residuales de una industria láctea a una quebrada	216
VI.9. Vertimiento de aguas residuales de una industria pesquera al mar.....	230



EE



I.30. Vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas a una quebrada

Índice

VI.1.1	Descripción del proyecto	95
VI.1.2	Características del agua residual tratada	95
VI.1.2.1	Determinación de la lista de parámetros a evaluarse.....	96
VI.1.2.2	Determinación de las concentraciones máximas.....	96
VI.1.2.3	Determinación del caudal máximo de aguas residuales tratadas vertidas	96
VI.1.2.4	Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente	97
VI.1.3	Características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor.....	97
VI.1.4	Determinación de la zona de mezcla.....	98
VI.1.4.1	Restricciones de la zona de mezcla	98
VI.1.5	Determinación del caudal disponible para la dilución.....	99
VI.1.6	Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua	99
VI.1.7	Balance de masa.....	99
VI.1.8	Evaluación de la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla	101
VI.1.9	Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural.....	103
VI.1.10	Conclusiones.....	104

I.30.1 Descripción del Proyecto

En lo siguiente se resume las características del proyecto que tienen relevancia para la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo natural de agua:

- Planta de tratamiento de las aguas residuales de una población rural de 3750 habitantes. En la localidad servida no existen actividades industriales.
- En la actualidad, el vertimiento de aguas residuales está inscrito en el Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual (PAVER) y es realizado sin tratamiento a un cuerpo natural de agua.
- El sistema de alcantarillado es de tipo separado, recogiendo exclusivamente aguas residuales domésticas. Las aguas de escorrentía pluvial son recogidas en un sistema de drenaje superficial.
- La PTAR proyectada abarca el tratamiento primario con criba media y desarenador, y secundario en dos lagunas facultativas diseñadas para cumplir con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S. N° 003-2010-MINAM). El área total neta de las lagunas es de 13 750 m², la profundidad es 1,5 m y el tiempo de retención real son 25 días.
- Las aguas residuales tratadas serán descargadas a una quebrada de Categoría ECA-Agua 3 "Riego de vegetales y bebida de animales".
- Aguas abajo del vertimiento hasta una distancia del vertimiento de un (01) kilómetro no existen usos primarios, poblacionales, agrícolas, industriales u otros del recurso hídrico.

1.30.2 Características del Agua Residual Tratada

1.30.2.1 Determinación de la lista de parámetros a evaluarse

En conformidad de la tabla N°2, Capítulo 1.2 de la "Guía para la Determinación de la Zona de Mezcla y la Evaluación del Impacto de un Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas", los parámetros a evaluarse para el caso de aguas residuales domésticas vertidas a un cuerpo de agua de categoría ECA-Agua 3 son los siguientes:

- Oxígeno Disuelto
- Aceites y Grasas
- Coliformes Termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
- Demanda Química de Oxígeno

No se deberá evaluar parámetros adicionales, ya que no existen actividades industriales en la localidad servida.

1.30.2.2 Determinación de las concentraciones máximas

Dado que se trata de un vertimiento proyectado de una PTAR futura, se supone que las concentraciones máximas corresponden a aquellas indicadas en los Límites Máximos Permisibles.

Tabla N°5: Concentraciones máximas del efluente

Parámetro	Unidad	LMP (D.S. N° 003-2010- MINAM)	Concentración máxima proyectada
Oxígeno disuelto	mg/L	---	0 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	200
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150	150
Aceites y grasas	mg/L	20	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	10 000

(*) Se supone una concentración de oxígeno disuelto en el efluente de 0 mg/L, lo que es una suposición conservadora.

1.30.2.3 Determinación del caudal máximo de aguas residuales tratadas vertidas

Para la estimación del caudal máximo del vertimiento se aplica los criterios propuestos en la Norma OS.100 "Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria":

- Dotación de Agua: 180 L/hab/d
- Variación máxima anual de la demanda horaria: 1,8 a 2,5
- Caudal de contribución de alcantarillado: 80 % del caudal de agua potable consumida.

Con estas variables el caudal medio se calcula con:

$$Q_{AR,medio} = \frac{180 * 3750 * 0,80}{24 * 60 * 60} = 6,25 \text{ L/s}$$

Y el caudal horario máximo se calcula con:

$$Q_{AR,max} = \frac{180 * 3750 * 2,5 * 0,80}{24 * 60 * 60} = 15,63 \text{ L/s}$$

Este caudal horario máximo corresponde al caudal en entrada a la futura planta de tratamiento de aguas residuales. Para poder determinar el caudal máximo del vertimiento, se deberá considerar el gran volumen de las lagunas de estabilización, lo que resultará en la ecuilización del caudal. Suponiendo de forma

conservadora un caudal horario máximo de 15,63 L/s con una duración de 6 horas y una descarga de la PTAR diseñada para un caudal continuo de 6,25 L/s, es posible calcular el volumen requerido para la ecualización del caudal.

$$\text{Volumen de ecualización} = (15,63 - 6,25) * 6 * 3600 = 202\ 608\ \text{L} = 202,6\ \text{m}^3$$

Considerando el área total neta de las lagunas de 13 750 m², se calcula un incremento del nivel del agua máximo de 1,5 cm, lo que demuestra la alta capacidad de ecualización del flujo de las lagunas. Por lo tanto, para la evaluación del impacto del vertimiento en el cuerpo receptor se calcula con el caudal medio del vertimiento de 6,25 L/s:

$$Q_{\text{vert}} = 6,25\ \text{L/s}$$

1.30.2.4 Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente

Los sistemas de tratamiento primario (criba media y desarenador) eliminarán los residuos sólidos, la materia flotante persistente y el material sedimentable contenidos en las aguas residuales antes de la descarga al cuerpo natural de agua.

1.30.3 Características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor

Las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor fueron determinadas en la época de estiaje, que es el período más crítico en términos de capacidad de asimilación de la carga contaminante.

Tal como se evidencia en la siguiente tabla, que contiene las precipitaciones mensuales históricas registradas en la estación meteorológica XXX, ubicada a 17 km del área de proyecto, el mes con las menores precipitaciones mensuales es junio.

Tabla N°6: Precipitación mensual histórica y promedio multianual.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL HISTORICA (mm)

ESTACIÓN:	XXX	LATITUD:	XX°XX'XX"
CUENCA:	XXX	LONGITUD:	XX°XX'XX"
FUENTE:	SENAMHI	ELEVACIÓN:	XX m.s.n.m.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2009	83.7	128.8	91.1	49.4	35.7	1.7	14.0	21.0	18.6	107.4	19.5	66.4
2010	122.4	83.6	95.9	28.3	28.4	10.8	42.0	2.8	34.3	41.5	86.9	51.6
2011	69.3	123.3	95.2	24.4	16.9	3.5	31.9	30.4	77.1	82.5	65.3	86.8
2012	73.5	79.6	98.0	50.5	23.0	0.0	0.4	42.0	38.5	45.0	63.8	97.3
2013	28.3	132.8	69.6	12.0	10.4	21.9	9.3	6.4	45.5	55.9	90.7	107.1
PROMEDIO	75.4	109.6	90.0	32.9	22.9	7.6	19.5	20.5	42.8	66.5	65.2	81.8

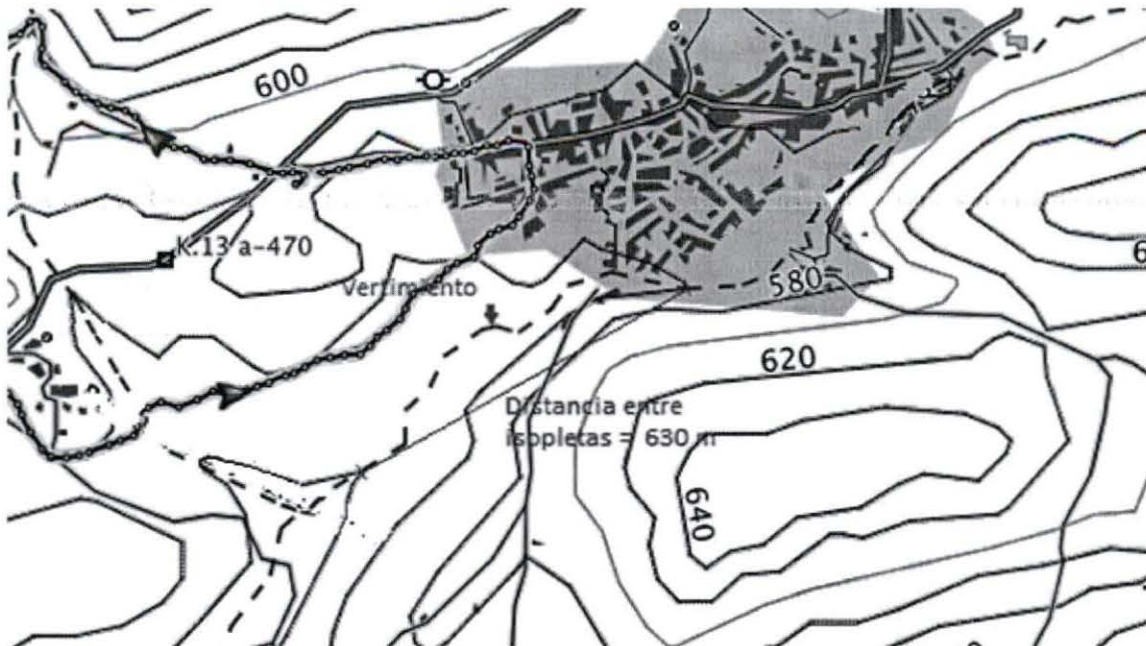
Considerando el régimen multianual de las precipitaciones se puede suponer, que el cuerpo receptor en el mes de junio tiene el caudal mínimo. Por lo tanto, el día 17 de junio de 2013 se realizó la determinación de las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor en la ubicación del vertimiento proyectado, con los siguientes resultados:

- Ancho medio del cuerpo de agua en un tramo de 500 m aguas abajo del vertimiento: $W_{\text{min}} = 1,7\ \text{m}$
- Profundidad media del río aguas abajo del vertimiento: $d = 0,13\ \text{m}$
- Velocidad de flujo media⁴⁸: $u = 1,0\ \text{m/s}$
- Caudal instantáneo: $Q_x = 180\ \text{L/s}$
- Factor de irregularidad del cauce: $c = 0,6$ (cauce natural con serpentear moderado)

La pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento fue determinada a base del mapa topográfico.

⁴⁸ Promedio de todas las mediciones realizadas con el correntómetro en la sección donde se determinó el caudal.

Gráfico N°29: Mapa topográfico del área de proyecto con indicación del punto de vertimiento proyectado y distancia entre las curvas de nivel.



- Pendiente del cauce: $s = (560-540) / 630 = 0,032 \text{ m/m}$



1.30.4 Determinación de la zona de mezcla

Para el cálculo de la extensión de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento se aplica el método simplificado desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA).

Dado que el vertimiento será realizado en la orilla del curso de agua, la longitud de la zona de mezcla se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_{ZdM} = \frac{(W_{min})^2 u}{2 \pi D_y} = \frac{1,7^2 \cdot 1,0}{2 \cdot 3,1416 \cdot 0,0158} = 29,1 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$$

donde,

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

$$D_y = c \cdot d \cdot u^* = 0,6 \cdot 0,13 \cdot 0,202 = 0,0158$$

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

$$u^* = \sqrt{(g \cdot d \cdot s)} = \sqrt{(9,80665 \cdot 0,13 \cdot 0,032)} = 0,202$$

1.30.4.1 Restricciones de la zona de mezcla

No es necesario restringir, es decir limitar la extensión máxima de la zona de mezcla, dado que se cumplen las siguientes condiciones:

- No existen usos primarios, poblacionales, agrícolas, industriales u otros de los recursos hídricos aguas abajo del vertimiento en una distancia hasta dos (02) veces la longitud de la zona de mezcla (igual a 60 m).
- No existe un cuerpo de agua lenticó natural o artificial (embalse, lago, laguna, o similares) aguas abajo del vertimiento en una distancia hasta la longitud de la zona de mezcla (30 m).
- No existen otros vertimientos de aguas residuales al cuerpo receptor aguas abajo del vertimiento en una distancia hasta la longitud de la zona de mezcla (30 m).

- La longitud de la zona de mezcla no es mayor que quinientos metros.

I.30.5 Determinación del caudal disponible para la dilución

Dado que no se dispone de una serie histórica de datos hidrológicos, el caudal del cuerpo receptor ha sido determinado en la época de estiaje en una medición única (véase capítulo VI.1.3).

Este caudal instantáneo $-Q_x-$ se corrige con un factor de seguridad de 2, que considera la variabilidad multianual de los caudales en época de estiaje y la inseguridad de la información basada en una medición única:

$$Q_{RH,crit} = \frac{Q_x}{2} = \frac{180 \text{ L/s}}{2} = 90 \text{ L/s}$$

Este caudal crítico de dilución no debe ser reducido adicionalmente, dado que no es necesario restringir la extensión de la zona de mezcla cómo se ha demostrado en el capítulo VI.1.4.1.

I.30.6 Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, se ha determinado las características química-físicas del cuerpo receptor a través de la toma de muestras de agua y análisis en un laboratorio cuyos parámetros están acreditados antes INDECOPI.

La toma de muestra fue realizada en una distancia de aprox. 20 m aguas arriba del vertimiento actual, lo que permite excluir la influencia del vertimiento en curso sobre la calidad del agua en el punto de control. Asimismo, la toma de muestra fue realizada el día 17 de junio de 2013, que corresponde a la época de estiaje como se ha demostrado en el capítulo VI.1.3. Por lo tanto, las concentraciones determinadas corresponden al periodo más crítico en términos de capacidad de asimilación de carga contaminante.

Se analizó los parámetros, que están potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas, que son aquellos definidos en el capítulo VI.1.2.1.

Tabla N°7: Concentraciones en el cuerpo natural de agua determinadas en la época de estiaje

Fecha de muestreo	DD/MM/AÑO	17/06/2013	ECA Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	
Hora de muestreo	hh:mm	10:30		
Caudal del cuerpo receptor	L/s	180		
Toma de muestra realizado por:	Laboratorio			
Nombre Laboratorio	XXXX SAC			
Número del informe de ensayo analítico	XXXX-XX			
Coordenada Norte (UTM-WGS84)	m	XXXXXX		
Coordenada Este (UTM-WGS84)	m	XXXXXX		
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	7,95		5 (bebida); 4 (riego)
DBO ₅	mg O ₂ /L	< 6		15
DQO	mg O ₂ /L	11	40	
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1,0	1	
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100mL	330	1000 (riego tallo bajo y bebida) 2000 (riego tallo alto)	

La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor evidenció que ninguno de los parámetros evaluados excede los ECA-Agua de la categoría 3.

I.30.7 Balance de masa

En lo siguiente se calcula las concentraciones de los parámetros aguas abajo de la zona de mezcla (C_0) mediante el balance de masa:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

El cumplimiento de los ECA-Agua se evalúa con:

$$C_0 \leq C_{ECA}$$

donde:

- C_0 es la concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.
- C_{RH} es la concentración en el cuerpo receptor, determinada según capítulo VI.1.6.
- C_{vert} es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas, determinada según capítulo VI.1.2.2.
- $Q_{RH,crit}$ es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado según capítulo VI.1.5.
- Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado según capítulo VI.1.2.3.
- C_{ECA} es el ECA-Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda.

Tabla N°8: Balance de masa y evaluación del cumplimiento del ECA-Agua aguas abajo del vertimiento en el límite de la Zona de Mezcla.

Parámetro	Q_{vert}	C_{vert}	$Q_{RH,crit}$	C_{RH}	C_0	C_{ECA}	EVALUACIÓN
Oxígeno disuelto (O_2)	Véase evaluación específica en el capítulo VI.1.8.						
DBO_5	6,25	10	90	0	0,6	15	Cumple ECA-Agua.
DQO	6,25	200	90	11	23,3	40	Cumple ECA-Agua.
Aceites y grasas	6,25	20	90	0	1,3	1	Excede ECA-Agua.
Coliformes Termotolerantes	6,25	10000	90	330	958	1000	Cumple ECA-Agua.



El balance de masa demuestra que la mayoría de los parámetros cumplirán con los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla. Sin embargo, se evidencia un riesgo de incumplimiento del parámetro Aceites y Grasas.

La carga contaminante máxima admisible de los Aceites y Grasas en las aguas residuales vertidas se calcula con la siguiente ecuación que integra la condición para el cumplimiento de los ECA con la ecuación de mezcla:

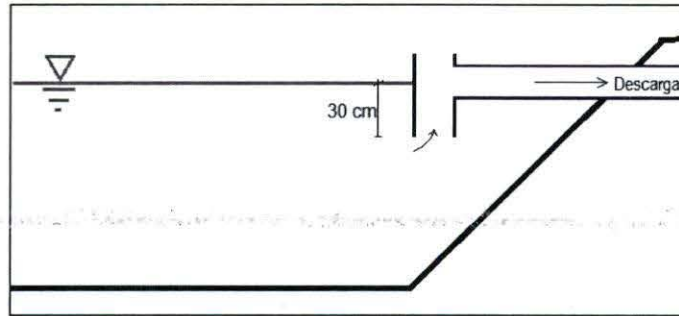
$$(C_{vert} \cdot Q_{vert}) \leq Q_{RH,crit} \cdot (C_{ECA} - C_{RH}) + Q_{vert} \cdot C_{ECA} \leq 90 \cdot (1 - 0) + 6,25 \cdot 1 \leq 96,25 \text{ mg/s}$$

Para reducir la carga contaminante del vertimiento a niveles inferiores a la carga admisible, hay dos opciones: reducción del caudal del vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas o reducción de la concentración de los Aceites y Grasas en el efluente mediante mejoras del sistema de tratamiento. Sin embargo, en el área de proyecto no existe una demanda de las aguas residuales tratadas con la finalidad de reúso, y, por lo tanto, no será posible reducir el caudal del vertimiento. Por lo tanto, será necesario reducir la concentración de Aceites y Grasas en el agua residual tratada. La concentración máxima del contaminante que permite el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{vert} \leq \frac{Q_{RH,crit} \cdot (C_{ECA} - C_{RH})}{Q_{vert}} + C_{ECA} \leq \frac{90 \cdot (1 - 0)}{6,25} + 1 \leq 15,4 \text{ mg/l}$$

Para obtener una mayor eficiencia de remoción de Aceites y Grasas y una mayor seguridad para el cumplimiento del ECA-Agua, se ubicará los dispositivos de descarga de la laguna en una profundidad de aprox. 30 cm debajo de la superficie. Esta medida garantizará que los aceites y grasas flotantes en la superficie de la laguna no serán descargados al cuerpo natural de agua. Asimismo, se incluirá en el plan de operación y mantenimiento la limpieza manual de la materia flotante en la superficie de la laguna con una frecuencia semestral.

Gráfico N°30: Dispositivo de descarga de la laguna facultativa



1.30.8 Evaluación de la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla

El oxígeno disuelto llega a la concentración mínima aguas abajo y distante de la zona de mezcla debido al consumo de oxígeno en la oxidación microbiológica de la materia orgánica y la nitrificación del nitrógeno amoniacal para luego recuperarse a través de la reaeración y la producción de oxígeno de las algas.

En lo siguiente, se evalúa el cumplimiento del ECA-Agua para Oxígeno Disuelto con la metodología propuesta por HYDROSCIENCE (1971).

Esta evaluación se realiza para las condiciones más críticas, las cuales se encuentran en la época de estiaje, debido a los bajos caudales disponibles para la dilución y las temperaturas del agua relativamente altas.

El método simplificado corresponde a la siguiente inecuación:

$$ECA_{O_2} \leq C_{O_2,RH} - D_C$$

donde:

ECA_{O_2} es el ECA-Agua de oxígeno disuelto en la categoría 3: 5,0 mg O₂/L

$C_{O_2,RH}$ es la concentración de oxígeno disuelto medida en el cuerpo receptor en el periodo de estiaje: 7,95 mg O₂/L

D_C es el déficit máximo de oxígeno disuelto, que se calcula con (HYDROSCIENCE, 1971):

$$D_C = L_0 \cdot \phi^{1-\phi} = 20,8 \cdot 20,2^{\frac{20,2}{1-20,2}} = 0,88 \text{ mg / L}$$

L_0 es la demanda de oxígeno disuelto debido al consumo de la materia orgánica (mg O₂/L) después de la mezcla completa, que se calcula con el balance de masas:

$$L_0 = \frac{DBO_{U,vert} \cdot Q_{vert} + DBO_{U,RH} \cdot Q_{RH,crit}}{(Q_{vert} + Q_{RH,crit})} = \frac{320 \cdot 6,25 + 0 \cdot 90}{(6,25 + 90)} = 20,8 \text{ mg/l}$$

$DBO_{U,vert}$ es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del vertimiento, que para aguas residuales domesticas-municipales luego de un tratamiento secundario puede ser determinada con la siguiente relación empírica con la DBO del ensayo de 5 días:

$$DBO_{U,vert} = DBO_{5,vert} \cdot 3,20 = 100 \cdot 3,20 = 320 \text{ mg/l}$$

$DBO_{U,RH}$ es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del cuerpo de agua determinada en un ensayo de laboratorio de 20 días. En el caso específico, donde el análisis de la DBO₅ ha demostrado la ausencia de carga orgánica en el cuerpo receptor, la $DBO_{U,RH}$ es supuesta 0 mg/l

$Q_{RH,crit}$ es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado en capítulo VI.1.5: 90 L/s

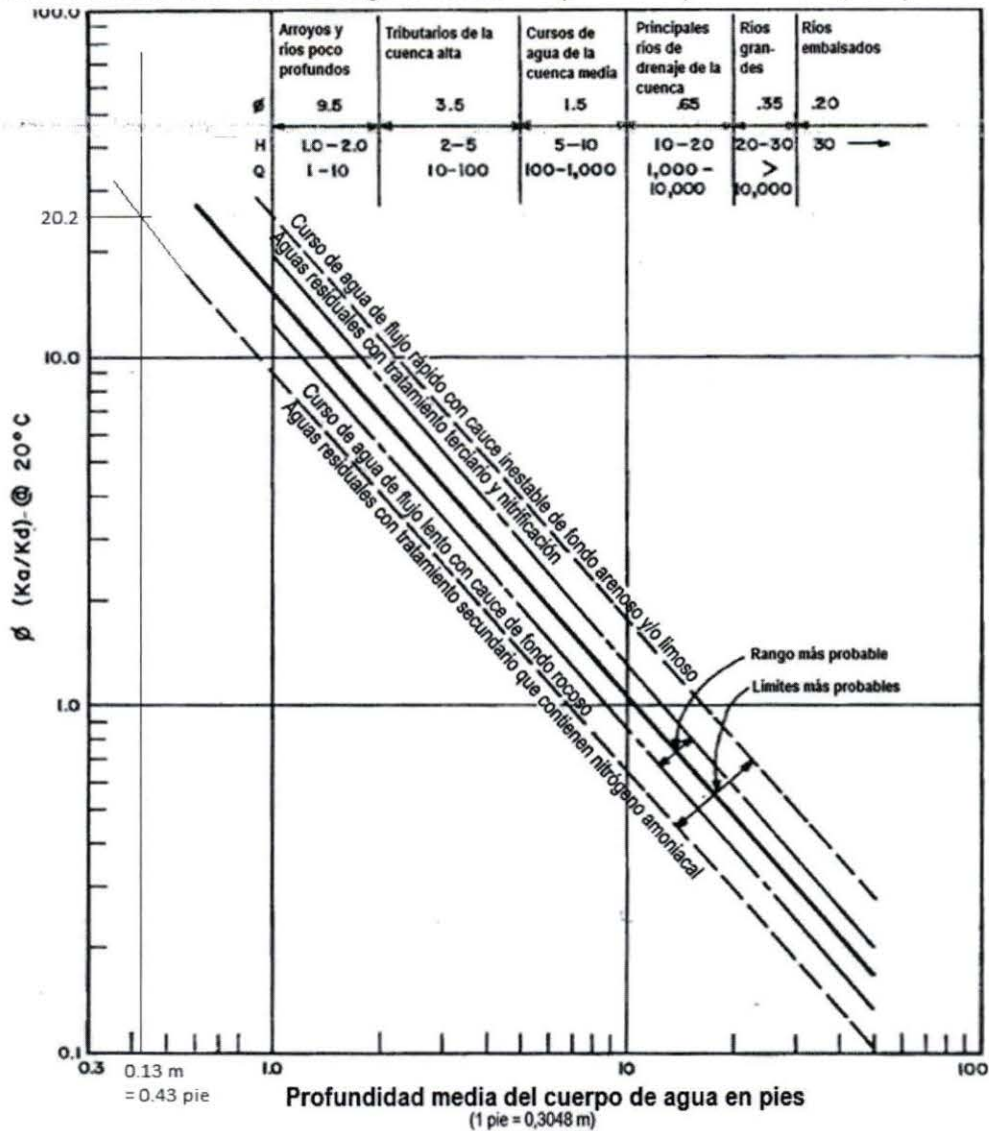
Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado en capítulo VI.1.2.3.: 6,25 L/s

ϕ es la tasa de asimilación definida con K_a/K_d (tasa de reaeración entre tasa de desoxigenación carbonácea), que se determina en función de la profundidad media del cuerpo natural



aplicando el gráfico siguiente y considerando las condiciones más críticas (curso de agua de flujo lento y aguas residuales con tratamiento secundario que contienen nitrógeno amoniacal):

Gráfico N°31: Tasa de asimilación de oxígeno disuelto - Φ (SALAS H. y MARTINO P., 1990).



Edwin Ventura Ch.



Con estos datos de ingreso obtenemos:

$$ECA_{O_2} \leq C_{O_2, RH} - D_C$$

$$5,0 \leq 7,95 - 0,88$$

$$5,0 \leq 7,07$$

Esto demuestra que la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla ocasionada por la oxidación de la materia orgánica contenida en el efluente será 7,07 mg/l y cumplirá con el ECA-Agua de 5,0 mg/l.

I.30.9 Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural

En lo siguiente se propone el programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo receptor, el cual comprende la determinación de la carga contaminante en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial.

Tabla N°9: Programa de control del efluente

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL*	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
				ZONA	NORTE	ESTE
V-1	Salida del dispositivo de descarga	Caudal, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Aceites y grasas (MEH), Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , DQO, Sólidos Suspendedos Totales	Anual	XX	XXXXXXXX	XXXXXX

Tabla N°10: Programa de control de la calidad del cuerpo natural de agua

CÓDIGO	CUERPO NATURAL DE AGUA		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL*	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
	NOMBRE	CAT. ECA				ZONA	NORTE	ESTE
RH-1	Quebrada XXXXX	3	20 m aguas arriba del vertimiento	pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Aceites y grasas (MEH), Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , DQO	Anual en la época de estiaje (junio)	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-2	Quebrada XXXXX	3	30 m aguas abajo del vertimiento en la misma orilla donde se realiza el vertimiento		Anual en la época de estiaje (junio)	XX	XXXXXXXX	XXXXXX

(*) La frecuencia de control ha sido establecida en función del volumen anual de aguas residuales vertidas:
 $V_{\text{anual}} = 3750 \text{ habitantes} \times 0,18 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{día} \times 365 \text{ días} \times 80 \% = 197\ 100 \text{ m}^3$. Valor que está en el rango de 0 – 300 000 m³ y resulta en una frecuencia anual, lo que está conforme con la frecuencia mínima establecida en la R.M. N°273-2013-VIVIENDA, Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

La toma de muestra del efluente y en el cuerpo receptor será realizada en la misma fecha y en conformidad con la R.M. N°273-2013-VIVIENDA, "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales" y la R.J. N°010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, respectivamente.

Dado que la evaluación realizada en el capítulo VI.1.8 no indica un riesgo de incumplimiento del ECA-Agua de oxígeno disuelto, no será necesario establecer puntos de control adicionales para el control de las concentraciones de oxígeno disuelto aguas abajo del vertimiento.

1.30.10 Conclusiones

- El vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas a la quebrada XXX no causará un incumplimiento de los ECA-Agua fuera de la zona de mezcla, dado que:
 - Las concentraciones en el límite de la zona de mezcla calculadas con el balance de masas en las condiciones más críticas no exceden los ECA-Agua de los parámetros característicos de las aguas residuales vertidas, ad excepción de los Aceites y Grasas.
 - La concentración de Aceites y Grasas en el efluente no será mayor de 15,4 mg/l, lo que permitirá cumplir con el ECA-Agua correspondiente. A tal fin, se incluirá en el diseño de la PTAR un dispositivo en la descarga, que permitirá la retención de los Aceites y Grasas en la laguna facultativa.
 - La concentración mínima de oxígeno aguas abajo de la zona de mezcla es mayor que el ECA-Agua correspondiente.
- El programa de control propuesto comprende la determinación de las cargas contaminantes de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial en dos puntos de control establecidos a 20 m aguas arriba y a 30 m aguas abajo del vertimiento. No será necesario establecer un punto adicional para el control del oxígeno disuelto, dado que la evaluación no indica un riesgo de incumplimiento del ECA-Agua. Considerando el bajo volumen de aguas residuales vertidas se realizará una (01) toma de muestras por año solamente, preferiblemente en el mes de junio, cuando el caudal del cuerpo receptor llegue a un mínimo.



Edwin



I.31. Vertimiento de aguas residuales municipales urbanas tratadas a un río

Índice

VI.2.1	Descripción del proyecto	105
VI.2.2	Características del agua residual tratada	106
VI.2.2.1	Determinación de la lista de parámetros a evaluarse	106
VI.2.2.2	Determinación de las concentraciones máximas	106
VI.2.2.3	Determinación del caudal máximo de aguas residuales tratadas vertidas	107
VI.2.2.4	Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente	109
VI.2.3	Características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor	109
VI.2.4	Determinación de la zona de mezcla	109
VI.2.4.1	Restricciones de la zona de mezcla	110
VI.2.5	Determinación del caudal disponible para la dilución	110
VI.2.5.1	Reducción del caudal debido a la restricción de la zona de mezcla	111
VI.2.6	Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua	111
VI.2.7	Balance de masa	112
VI.2.8	Evaluación de la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla	116
VI.2.9	Análisis de alternativas de la disposición final de aguas residuales tratadas	119
VI.2.10	Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural	120
VI.2.11	Conclusiones	122
I.31.1	<u>Descripción del proyecto</u>	



En lo siguiente se resume las características del proyecto que tienen relevancia para la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo natural de agua:

- Planta de tratamiento de las aguas residuales de una población urbana de 215 458 habitantes.
- En la ciudad servida existen actividades industriales, cuales mataderos, curtiembre, cemento, acero, cervecería y productos lácteos.
- En la actualidad, el vertimiento de aguas residuales está inscrito en el Programa de Adecuación de Vertimientos y reúso de Agua Residual (PAVER) y es realizado sin tratamiento a un cuerpo natural de agua.
- El tratamiento proyectado abarca tratamiento primario con criba gruesa y fina, desarenador y sedimentadores primarios, tratamiento secundario biológico mediante lodos activados, sedimentadores secundarios, filtros de arena rápidos y desinfección con luz ultravioleta (UV).
- El sistema de tratamiento es diseñado para cumplir con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S. N° 003-2010-MINAM) y el caudal de diseño es determinado para el probable número de habitantes en el año 2024, calculado con una tasa de crecimiento de la población del 3%.
- Las aguas residuales tratadas serán descargadas a un río de Categoría ECA-Agua 3 "Riego de vegetales y bebida de animales". El río no tributa a un cuerpo de agua léntico.
- Aguas abajo del vertimiento en una distancia del vertimiento de 1200 metros existe una toma de agua para uso agrícola; sin embargo, hasta esta distancia no existen otros usos del recurso hídrico.

I.31.2 Características del agua residual tratada

I.31.2.1 Determinación de la lista de parámetros a evaluarse

En la siguiente tabla se determina la lista de parámetros a evaluarse en función de las características de las aguas residuales municipales y de las actividades industriales presentes en el área servida por el servicio de alcantarillado.

Tabla N°11: Lista de parámetros a evaluarse

Aguas residuales municipales ¹	Aguas residuales industriales de mataderos ²	Aguas residuales industriales de curtiembre ¹	Aguas residuales industriales generadas en la fabricación de cemento ¹	Aguas residuales industriales de procesos metalúrgicos (acero) ¹	Aguas residuales industriales generadas en la fabricación de cerveza ¹	Aguas residuales industriales generadas en la producción de lácteos ³	Parámetros a evaluarse
OD		OD			OD		OD
AyG	AyG	AyG		AyG	AyG	AyG	AyG
C.term.		C.term.					C.term.
DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅			DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅
DQO	DQO	DQO		DQO	DQO	DQO	DQO
P-PO ₄ (L)	P-PO ₄	P-PO ₄ (L)			P-PO ₄ (L)	P-PO ₄	--- ⁴
N-NO ₃ (L)	N-NO ₃	N-NO ₃ (L)		N-NO ₃ (L)	N-NO ₃ (L)	N-NO ₃	--- ⁴
N-NH ₄ (L)	N-NH ₄	N-NH ₄ (L)			N-NH ₄ (L)	N-NH ₄	--- ⁴
		SO ₄		SO ₄			SO ₄
Metales			Metales	Metales			Metales
				CN _{WAD}			CN _{WAD}
		Cr ⁺⁶		Cr ⁺⁶			Cr ⁺⁶
		Fenoles					Fenoles

Leyenda: (AyG) aceites y grasas, (C. term.) coliformes termotolerantes, (DBO₅) demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, (DQO) demanda química de oxígeno, (CN_{WAD}) cianuro WAD, (Cr⁺⁶) cromo hexavalente, (Metales) todos los metales y metaloides determinados con ICP e indicados en la categoría ECA-Agua 3: Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Sodio y Zinc, (N-NO₃) nitrógeno en nitratos, (P-PO₄) fosfatos como fósforo.

(1) Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2014) Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas, capítulo I.2, Tabla N°2.

(2) Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana de Santiago de Chile (1998), Guía para el control y prevención de la contaminación industrial - industria procesadora de la carne.

(3) Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana de Santiago de Chile (1998), Guía para el control y prevención de la contaminación industrial - Fabricación de productos lácteos.

(4) Los nutrientes no deberán ser evaluados, dado que el cuerpo receptor no tributa a un cuerpo de agua lenticó.

I.31.2.2 Determinación de las concentraciones máximas

Dado que se trata de un vertimiento proyectado de una PTAR futura, se supone que las concentraciones máximas de los parámetros considerados en el D.S. N°003-2010-MINAM corresponden a los Límites Máximos Permisibles.

Tabla N°12: Concentraciones máximas de los parámetros considerados en el D.S. N°003-2010-MINAM

Parámetro	Unidad	LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM)	Concentración máxima proyectada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	200
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150	150
Aceites y grasas	mg/L	20	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	10 000

Para poder determinar las concentraciones máximas de los parámetros no considerados en los LMP se ha caracterizado la calidad de las aguas residuales crudas, que en la actualidad son vertidas al cuerpo

receptor. A tal propósito se ha tomado muestras singulares en tres fechas diferentes y en diferentes horarios.

Tabla N°13: Concentraciones máximas de los parámetros no considerados en los LMP

		Resultados Muestreo 1	Resultados Muestreo 2	Resultados Muestreo 3	Concentración máxima (min. para OD)
Fecha de muestreo		23/07/2013	24/07/2013	25/07/2013	---
Hora de muestreo		10:30	08:30	15:00	---
Caudal	L/s	679	725	518	---
Nombre Laboratorio		XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC	---
Número del informe de ensayo analítico		XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX	---
OD	mg O ₂ /L	2,46	4,09	2,70	2,46
Temperatura	°C	24,61	25,12	24,89	25,12
Conductividad	µS/cm	1684	2453	2248	2453
pH	---	7,45	8,42	7,69	8,42
SO ₄	mg/L	38,8	44,6	32,2	44,6
Aluminio	mg/L	1,81	2,52	1,71	2,52
Arsénico	mg/L	0,0200	0,0526	0,0243	0,0526
Bario	mg/L	0,2002	0,3839	0,2307	0,3839
Berilio	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Boro	mg/L	0,565	0,856	1,397	1,397
Cadmio	mg/L	0,0005	0,0026	0,0006	0,0026
Calcio	mg/L	55,4	59,5	51,5	59,5
Cobalto	mg/L	0,0011	0,0014	0,0012	0,0014
Cobre	mg/L	0,0814	0,0843	0,0846	0,0846
Hierro	mg/L	1,883	1,925	1,844	1,925
Litio	mg/L	0,0594	0,0569	0,0545	0,0594
Magnesio	mg/L	18,5	17,0	17,4	18,5
Manganeso	mg/L	0,0998	0,1087	0,1093	0,1093
Mercurio	mg/L	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010
Níquel	mg/L	0,0038	0,0056	0,0119	0,0119
Plata	mg/L	0,0015	0,0023	0,0003	0,0023
Plomo	mg/L	0,0237	0,0480	0,1953	0,1953
Selenio	mg/L	0,0009	0,0000	0,0011	0,0011
Sodio	mg/L	215,7	179,4	169,5	215,7
Zinc	mg/L	0,343	0,320	0,198	0,343
CN _{WAD}	mg/L	0,0023	0,0040	0,0020	0,0040
Cr ⁺⁶	mg/L	0,6606	0,2558	0,1112	0,6606
Fenoles	mg/L	0,0063	0,0049	0,0035	0,0063

1.31.2.3 Determinación del caudal máximo de aguas residuales tratadas vertidas

Para la estimación del caudal máximo del vertimiento se aplica los criterios propuestos en la Norma OS.100 "Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria":

- Dotación de Agua: 220 L/hab/d
- Variación máxima anual de la demanda horaria: 1,8 a 2,5
- Caudal de contribución de alcantarillado: 80 % del caudal de agua potable consumida.

Con estas variables el caudal medio y máximo horario se calcula con:

$$Q_{\text{vert,medio}} = \frac{220 * 215 * 458 * 0,80}{24 * 60 * 60} = 439 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{vert,max}} = Q_{\text{vert,medio}} * 1,8 = 790 \text{ L/s}$$

Para corroborar el caudal medio y máximo horario estimado, el día 25 de julio de 2013 se ha realizado la medición continua del caudal actualmente vertido mediante el uso de un correntómetro acústico.

Gráfico N°32: Caudales horarios de aguas residuales medidos el día 25/07/2013

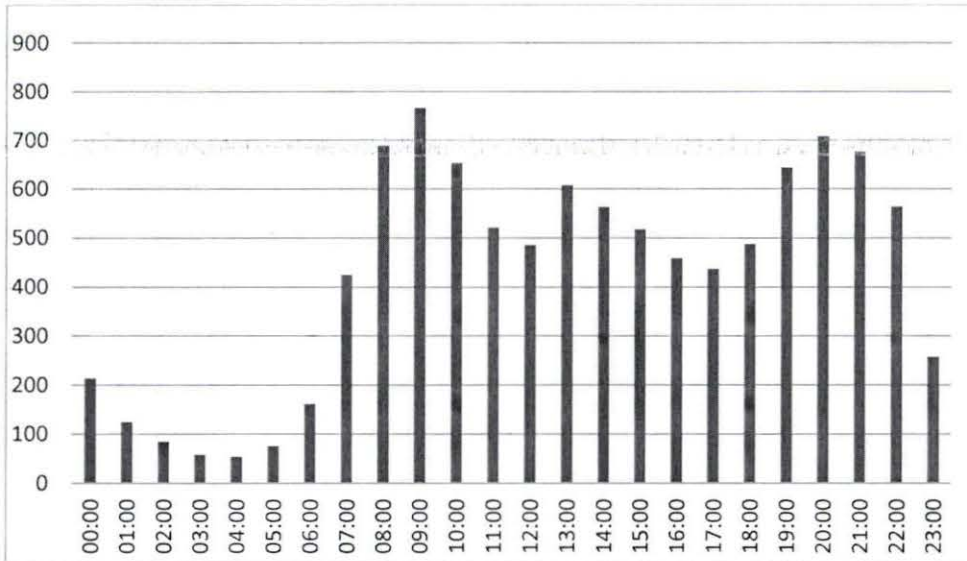


Tabla N°14: Caudal horario medio y máximo del día 25/07/2013

Caudal medio	L/s	427
Caudal máximo	L/s	767
Relación	---	1 : 1,8

Como demuestra la tabla anterior, los resultados de la medición continua del caudal actualmente vertido confirmaron las estimaciones del caudal medio y máximo horario.

Para determinar el caudal máximo futuro se debe considerar el crecimiento proyectado de la población. Con 215 458 habitantes en el año 2013 y un crecimiento de la población proyectado del 3 %, la población futura se calcula con:

$$Hab_{añoX} = Hab_{2013} * (1+0,03)^{años}$$

Con esta proyección de la población el caudal máximo horario se calcula con:

$$Q_{vert} = \frac{220 * Hab_{añoX} * 1,8 * 0,80}{24 * 60 * 60}$$

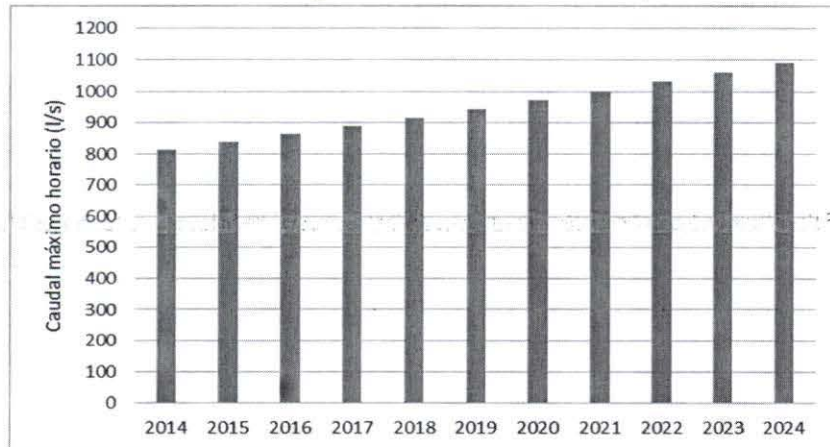
Como representado en el siguiente gráfico el caudal máximo del vertimiento muestra un crecimiento continuo correspondiente el crecimiento poblacional, llegando a un valor máximo de 1093 L/s en el año 2024.



Edwin Ventura Ch.



Gráfico N°33: Caudal máximo horario de aguas residuales vertidas en el periodo 2014-2024



1.31.2.4 Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente

Los sistemas de tratamiento primario (criba gruesa, media y fina, desarenador y sedimentadores primarios) eliminarán los residuos sólidos, la materia flotante persistente y el material sedimentable contenidos en las aguas residuales antes de la descarga al cuerpo natural de agua.

1.31.3 Características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor

Las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor fueron determinadas en la época de estiaje, que es el período más crítico en términos de capacidad de asimilación de la carga contaminante.

Tal como se evidencia en la tabla de los caudales mensuales en el capítulo VI.2.5, la época de estiaje corresponde a los meses de junio y julio.

El día 22 de julio de 2013 se ha determinado las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo receptor correspondientes a la época de estiaje, con los siguientes resultados:

- Ancho medio del cuerpo de agua en un tramo de 500 m aguas abajo del vertimiento: $W_{min} = 24,5$ m
- Profundidad media del río aguas abajo del vertimiento: $d = 0,40$ m
- Velocidad de flujo media⁴⁹: $u = 1,3$ m/s
- Caudal instantáneo: $Q_x = 12\ 360$ L/s
- Factor de irregularidad del cauce: $c = 0,6$ (cauce natural con serpentear moderado)

La pendiente del cauce aguas abajo del vertimiento fue determinada mediante GPS, determinando la diferencia de altitud entre el fondo cauce en el punto de vertimiento proyectado y un punto ubicado en el fondo del cauce 500 metros aguas abajo; la diferencia de altitud medida son 1,05 m. Con estos datos se calcula la pendiente del cauce con:

$$s = 1,05 / 500 = 0,021 \text{ m/m}$$

1.31.4 Determinación de la zona de mezcla

Para el cálculo de la extensión de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento se aplica el método simplificado desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA).

⁴⁹ Promedio de todas las mediciones realizadas con el correntómetro en la sección donde se determinó el caudal.

Para la época de estiaje y vertimiento en la orilla del curso de agua, la longitud de la zona de mezcla se calcula con:

$$L_{ZdM} = \frac{(W_{min})^2 u}{2 \pi D_y} = \frac{24,5^2 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,1416 \cdot 0,069} = 1800 \text{ m}$$

donde,

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

$$D_y = c \cdot d \cdot u^* = 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,287 = 0,069$$

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

$$u^* = \sqrt{(g \cdot d \cdot s)} = \sqrt{(9,80665 \cdot 0,4 \cdot 0,021)} = 0,287$$

1.31.4.1 Restricciones de la zona de mezcla

Dado que a 1200 metros aguas abajo del vertimiento existe una toma de agua para uso agrícola, es necesario restringir, es decir limitar la extensión máxima de la zona de mezcla, para proteger el uso del riesgo de impactos salud ocasionados por las concentraciones mayores a los ECA-Agua que ocurren en la zona de mezcla:

$$L_{ZdM} \leq \frac{L_{USO}}{2} = \frac{1200}{2} = 600 \text{ m}$$

Asimismo, la longitud de la zona de mezcla no debería ser mayor que quinientos metros⁵⁰:

$$L_{ZdM} \leq 500 \text{ m}$$

Por lo tanto, para el vertimiento en orilla del río se debería reducir la longitud de la zona de mezcla de 1800 m (mezcla completa) a 500 m.

Sin embargo, para el vertimiento en el centro del río, mediante la disposición subacuática de las aguas residuales, la mezcla de las aguas residuales con el agua natural será más rápida y se reduce la longitud de la zona de mezcla.

Para el vertimiento en el centro del curso de agua, la longitud de la zona de mezcla se calcula como sigue:

$$L_{ZdM} = \frac{(W_{min})^2 u}{8 \pi D_y} = \frac{24,5^2 \cdot 1,3}{8 \cdot 3,1416 \cdot 0,069} = 450 \text{ m}$$

Mediante el vertimiento en el centro del río se logra la mezcla completa a 450 m, lo que es inferior a la extensión máxima permisible de 500 m y permite proteger el uso del agua ubicado 1800 metros aguas abajo del vertimiento.

1.31.5 Determinación del caudal disponible para la dilución

En la siguiente tabla se representa la serie de datos históricos del caudal registrados en la estación hidrológica XXXX ubicada a aprox. 5 kilómetros aguas arriba del vertimiento. Dado que entre la estación hidrológica y el punto de vertimiento no existen tomas de agua o tributarios significativos, los datos son representativos para el tramo de río estudiado.

⁵⁰ Véase: "Lineamientos para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas", capítulo II.2.3, Autoridad Nacional del Agua (2014).

Tabla N°15: Caudales mensuales históricos medidos en la estación hidrológica XXXX, en m³/s

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2006	14,89	30,63	37,04	31,33	12,04	10,62	11,71	12,88	13,02	13,03	13,81	14,51
2007	16,64	14,28	17,03	14,21	12,33	12,03	11,97	12,02	12,44	13,14	13,00	12,99
2008	17,34	13,25	12,71	11,16	9,61	9,52	9,51	9,52	10,25	10,50	10,51	10,50
2009	9,67	17,69	20,08	9,01	9,00	8,60	7,78	8,01	8,84	9,20	9,21	9,20
2010	8,46	9,13	10,74	11,10	10,68	10,05	10,00	10,91	11,01	11,78	11,87	12,01
2011	11,87	33,79	33,66	27,31	13,32	12,97	13,04	13,00	12,72	13,90	13,69	14,12
2012	41,27	40,12	39,08	33,56	14,28	14,06	14,54	15,21	13,12	10,89	10,25	11,41
Promedio multianual	15,23	24,86	30,91	19,62	11,76	10,92	10,93	11,15	11,29	11,48	11,66	11,87

El caudal crítico de dilución ($Q_{RH,crit}$) es el valor mínimo de los caudales mensuales medios en los últimos 5 años, que corresponde a **7 780 L/s** registrados en el mes de julio de 2009.

I.31.5.1 Reducción del caudal debido a la restricción de la zona de mezcla

En el numeral VI.2.4.1 se ha demostrado que para el vertimiento en la orilla será necesario restringir la extensión de la zona de mezcla para proteger el uso de agua con fines agrícolas ubicado a 1200 m del vertimiento y para respetar la longitud máxima de 500 m y no será posible aprovechar la sección de flujo total para la dilución. Esto significa, que también el caudal crítico de dilución debería ser reducido según la siguiente ecuación.

Para un vertimiento en la orilla del río el caudal crítico de dilución reducido se calcula con:

$$Q_{RH,crit,red} = Q_{RH,crit} \cdot \frac{\sqrt{(2 \pi D_y L_{zdm} / u)}}{W_{min}} = 7780 \cdot \frac{\sqrt{(2 \cdot 3,1416 \cdot 0,069 \cdot 500 / 1,3)}}{24,5} = 4101 \text{ L/s}$$

Esto constituye una reducción del caudal disponible para la dilución de aprox. 50%, lo que conlleva restricciones significativas de la carga contaminante que se podrá disponer en el cuerpo receptor. Considerando el alto volumen del vertimiento proyectado, será necesario aprovechar el caudal total del río. Por lo tanto, se incluirá en el proyecto la disposición subacuática de las aguas residuales en el centro del río, lo que permite una mezcla más rápida de las aguas residuales con el agua natural, reduce la longitud de la zona de mezcla y no será necesario reducir el caudal disponible para la dilución.

I.31.6 Determinación de las concentraciones en el cuerpo natural de agua

Para la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, se ha determinado las características química-físicas del cuerpo receptor a través de tres tomas de muestras de agua y análisis en un laboratorio cuyos parámetros están acreditados antes INDECOPI. Las tomas de muestra fueron realizadas en una distancia de aprox. 50 m aguas arriba del vertimiento actual, lo que permite excluir la influencia del vertimiento en curso sobre la calidad del agua en el punto de control. Asimismo, los tres muestreos fueron realizados en la época de estiaje (junio-julio) en las fechas 27 de junio, 10 y 25 de julio de 2013. Por lo tanto, las concentraciones determinadas corresponden al periodo más crítico en términos de capacidad de asimilación de carga contaminante. Se analizó los parámetros, que están potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas, que son aquellos definidos en el capítulo VI.2.2.1.

Tabla N°16: Concentraciones en el cuerpo natural de agua determinadas en la época de estiaje

Fecha de muestreo	DD/MM/AÑO	27/06/2013	10/07/2013	25/07/2013	Valor máximo (mínimo para OD)	ECA Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales
Hora de muestreo	hh:mm	10:30	14:00	09:00		
Toma de muestra realizado por:		Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio		
Nombre Laboratorio		XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC		
Número del informe de ensayo analítico		XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX		
Coordenada Norte (UTM-WGS84)	m	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX		
Coordenada Este (UTM-WGS84)	m	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX		
Temperatura	C°	16,1	16,2	15,6	16,2	-
pH	-	8,29	8,14	8,05	8,29	6,5-8,4 (bebida), 6,5-8,5 (riego)
Cond.	µS/cm	228	247	190	247	2000 (riego), 5000 (bebida)
OD	mg/L	8,85	9,28	8,67	8,67	5 (bebida), 4 (riego)
AyG	mg/L	<1,7	<1,7	<1,7	0	1
DBO ₅	mg/L O ₂	<6	<6	<3	0	15
DQO	mg/L O ₂	9	<9	10	10	40
C.term	NMP/ 100mL	49	31	13	49	1000 (riego tallo bajo y bebida) 2000 (riego tallo alto)
SO ₄	mg/L	4,5	4,3	3,2	4,5	300 (riego), 500 (bebida)
Aluminio total	mg/L	0,3	0,85	0,99	0,99	5
Arsénico	mg/L	0,021	0,018	0,007	0,021	0,05 (riego), 0,1 (bebida)
Bario	mg/L	0,042	0,037	0,030	0,042	0,7 (riego)
Berilio	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0	0,1 (bebida)
Boro	mg/L	0,30	0,29	0,12	0,30	0,5-6 (riego), 5 (bebida)
Cadmio	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0	0,005 (riego), 0,01 (bebida)
Calcio	mg/L	20,789	19,098	13,773	20,789	200 (riego)
Cobalto	mg/L	<0,00022	0,00042	0,00041	0,00042	0,05 (riego), 1 (bebida)
Cobre	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	0,003	0,2 (riego), 0,5 (bebida)
Hierro	mg/L	0,247	0,679	0,682	0,682	1
Litio	mg/L	0,0326	0,0299	0,0134	0,0326	2,5
Magnesio	mg/L	6,716	7,172	4,510	7,172	150
Manganeso	mg/L	0,0421	0,0753	0,0544	0,0753	0,2
Mercurio	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0	0,001
Níquel	mg/L	<0,003	<0,003	0,010	0,010	0,2
Plata	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0	0,05
Plomo	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0	0,05
Selenio	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0	0,05
Sodio	mg/L	31,11	24,54	19,06	31,11	200 (riego)
Zinc	mg/L	0,053	<0,003	<0,003	0,053	2 (riego), 24 (bebida)
CN _{WAD}	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.	0	0,1
Cr ⁺⁶	mg/L	<0,006	<0,006	0,018	0,018	0,1 (riego), 1 (bebida)
Fenoles	mg/L	n.d.	n.d.	n.d.	0	0,001

La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor evidenció que ninguno de los parámetros evaluados excede los ECA-Agua de la categoría 3.

1.31.7 Balance de masa

En lo siguiente se calcula las concentraciones de los parámetros aguas abajo de la zona de mezcla mediante el balance de masa:

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

El cumplimiento de los ECA-Agua se evalúa con:

$$C_0 \leq C_{ECA}$$

Donde:

- C_0 es la concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.
- C_{RH} es la concentración en el cuerpo receptor, determinada en el capítulo VI.2.6.
- C_{vert} es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas, determinada en el capítulo VI.2.2.2.
- $Q_{RH, crit}$ es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado en el capítulo VI.2.5.1
- Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado en el capítulo VI.2.2.3 para el año 2024.
- C_{ECA} es el ECA-Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda.

Tabla N°17: Balance de masa y evaluación del cumplimiento del ECA-Agua aguas abajo del vertimiento en el límite de la Zona de Mezcla.

Parámetro	Q_{vert}	C_{vert}	$Q_{RH, crit}$	C_{RH}	C_0	C_{ECA}	EVALUACIÓN
OD	Véase evaluación específica en el capítulo VI.2.8.						
AyG	1093 L/s	20 mg/L	7475 L/s	0 mg/L	3 mg/L	1	Excede ECA-Agua.
DBO ₅	1093 L/s	100 mg/L	7475 L/s	0 mg/L O ₂	13 mg/L O ₂	15	Cumple ECA-Agua.
DQO	1093 L/s	200 mg/L	7475 L/s	10 mg/L O ₂	34 mg/L O ₂	40	Cumple ECA-Agua.
C.term	1093 L/s	10000 NMP/100mL	7475 L/s	49,00 NMP/100mL	1318 NMP/100mL	1000 (riego tallo bajo y bebida) 2000 (riego t, alto)	Excede ECA-Agua.
SO ₄	1093 L/s	44,6 mg/L	7475 L/s	4,5 mg/L	9,6 mg/L	300 (riego) 500 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Aluminio	1093 L/s	2,52 mg/L	7475 L/s	0,99 mg/L	1,18 mg/L	5	Cumple ECA-Agua.
Arsénico	1093 L/s	0,0526 mg/L	7475 L/s	0,0210 mg/L	0,0250 mg/L	0,05 (riego) 0,1 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Bario	1093 L/s	0,3839 mg/L	7475 L/s	0,0420 mg/L	0,0856 mg/L	0,7 (riego)	Cumple ECA-Agua.
Berilio	1093 L/s	0,0000 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0000 mg/L	0,1 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Boro	1093 L/s	1,397 mg/L	7475 L/s	0,300 mg/L	0,440 mg/L	0,5-6 (riego) 5 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Cadmio	1093 L/s	0,0026 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0003 mg/L	0,005 (riego) 0,01 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Calcio	1093 L/s	59,5 mg/L	7475 L/s	20,8 mg/L	25,7 mg/L	200 (riego)	Cumple ECA-Agua.
Cobalto	1093 L/s	0,0014 mg/L	7475 L/s	0,0004 mg/L	0,0005 mg/L	0,05 (riego) 1 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Cobre	1093 L/s	0,0846 mg/L	7475 L/s	0,0030 mg/L	0,0134 mg/L	0,2 (riego) 0,5 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Hierro	1093 L/s	1,925 mg/L	7475 L/s	0,682 mg/L	0,841 mg/L	1	Cumple ECA-Agua.
Litio	1093 L/s	0,0594 mg/L	7475 L/s	0,0326 mg/L	0,0360 mg/L	2,5	Cumple ECA-Agua.
Magnesio	1093 L/s	18,5 mg/L	7475 L/s	7,2 mg/L	8,6 mg/L	150	Cumple ECA-Agua.
Manganeso	1093 L/s	0,1093 mg/L	7475 L/s	0,0753 mg/L	0,0796 mg/L	0,2	Cumple ECA-Agua.
Mercurio	1093 L/s	0,0010 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0001 mg/L	0,001	Cumple ECA-Agua.

Parámetro	Q _{vert}	C _{vert}	Q _{RH,crit}	C _{RH}	C ₀	C _{ECA}	EVALUACIÓN
Níquel	1093 L/s	0,0119 mg/L	7475 L/s	0,0100 mg/L	0,0102 mg/L	0,2	Cumple ECA-Agua.
Plata	1093 L/s	0,0023 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0003 mg/L	0,05	Cumple ECA-Agua.
Plomo	1093 L/s	0,1953 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0249 mg/L	0,05	Cumple ECA-Agua.
Selenio	1093 L/s	0,0011 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0001 mg/L	0,05	Cumple ECA-Agua.
Sodio	1093 L/s	215,7 mg/L	7475 L/s	31,1 mg/L	54,7 mg/L	200 (riego)	Cumple ECA-Agua.
Zinc	1093 L/s	0,343 mg/L	7475 L/s	0,053 mg/L	0,090 mg/L	2 (riego) 24 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
CN _{WAD}	1093 L/s	0,0040 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0005 mg/L	0,1	Cumple ECA-Agua.
Cr ⁶⁺	1093 L/s	0,6606 mg/L	7475 L/s	0,0180 mg/L	0,1000 mg/L	0,1 (riego) 1 (bebida)	Cumple ECA-Agua.
Fenoles	1093 L/s	0,0063 mg/L	7475 L/s	0,0000 mg/L	0,0008 mg/L	0,001	Cumple ECA-Agua.

El balance de masa demuestra que la mayoría de los parámetros cumplirán con los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla. Sin embargo, se evidencia un riesgo de incumplimiento de los parámetros Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes.

Para poder cumplir con el ECA-Agua, la carga contaminante del vertimiento debe ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones de los parámetros críticos o ambos.

En lo siguiente se evalúa las dos opciones:

- Reducción del caudal de vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas.
- Reducción de las concentraciones a través de un mayor nivel de tratamiento de los parámetros críticos.

Para determinar el caudal máximo del vertimiento que permitirá cumplir los ECA-Agua se utiliza la siguiente ecuación:

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

Y el caudal que debería ser reusado se calcula con:

$$Q_{\text{reúso}} = Q_{\text{AR,total}} - Q_{\text{vert,admisible}}$$

Este análisis es realizado para los diferentes meses del año 2014 y 2024, considerando el crecimiento del caudal del vertimiento; el caudal mensual crítico del río, disponible para la dilución, es determinado a base de los caudales mensuales históricos indicados en la tabla n° 15, correspondiente al caudal mensual mínimo en el periodo 2008-2012.




Gráfico N°34: Caudal máximo mensual del vertimiento admisible y caudal de aguas residuales a reusarse en el año 2014.

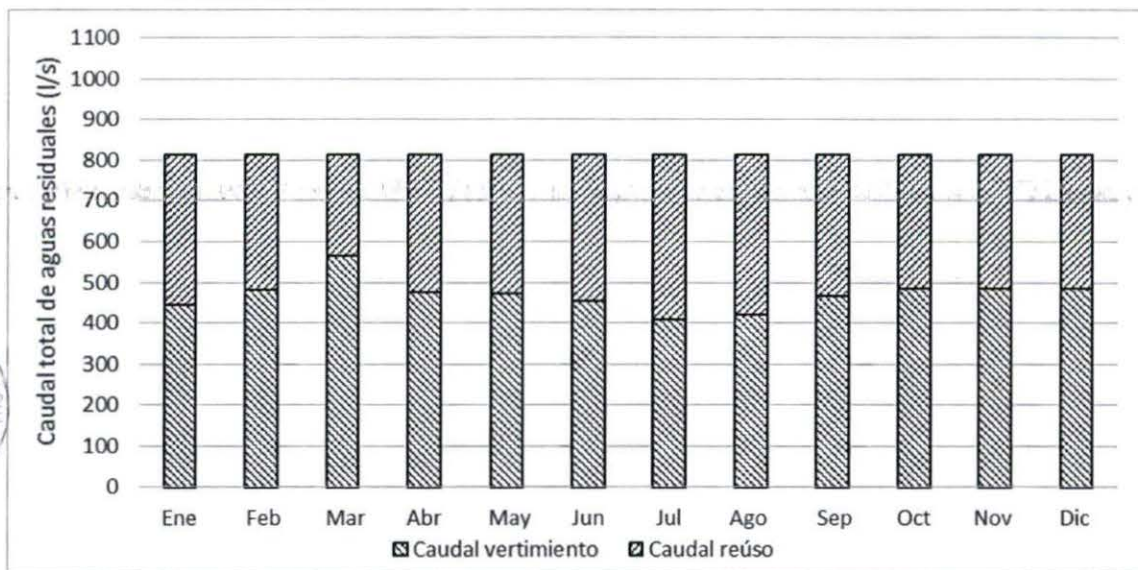
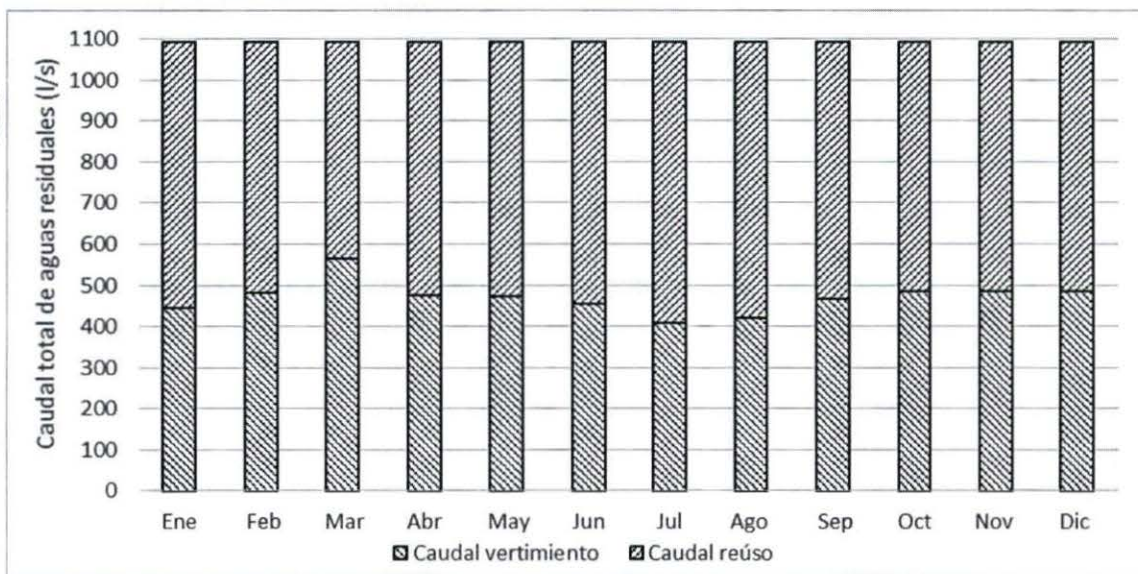


Gráfico N°35: Caudal máximo mensual del vertimiento admisible y caudal de aguas residuales a reusarse en el año 2024.



Como se evidencia en los gráficos antecedentes, en la época seca (abril hasta septiembre) el caudal de aguas residuales destinadas al reúso es mayor, lo que corresponde a las exigencias variables de la agricultura. Además, se observa que el caudal que deberá ser reusado crece de aprox. 400 L/s en el año 2014 a casi 700 L/s en 2024.

A continuación, se analiza la segunda opción, el mayor nivel de tratamiento de aguas residuales. Para este fin, se calcula las concentraciones máximas de Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes en las aguas residuales, que permiten el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor, aplicando la siguiente ecuación:

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

Este análisis es realizado para el periodo de 2014 hasta 2024, considerando las condiciones más críticas en términos de capacidad de asimilación del cuerpo receptor, es decir, las condiciones de la época de estiaje. Asimismo, se calcula la eficiencia de remoción de los parámetros críticos requerida.

Tabla N°18: Concentraciones máximas admisibles de Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes en las aguas residuales vertidas en el periodo 2014 hasta 2024

Variable	Unidad	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Q_{vert}	L/s	814	838	863	889	916	943	972	1001	1031	1062	1093
C_{AR} crudas de AyG	mg/l	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04	67,04
C_{AR} crudas de C.term	NMP/100mL	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10	2,3E10
C_{vert,admis} de AyG	mg/l	10,6	10,3	10,0	9,7	9,5	9,2	9,0	8,8	8,5	8,3	8,1
Eficiencia de remoción de AyG requerida	%	84%	85%	85%	85%	86%	86%	87%	87%	87%	88%	88%
C_{vert,admis} de C.term	NMP/100mL	10093	9828	9571	9321	9079	8843	8615	8393	8178	7969	7772
Eficiencia de remoción de C.term requerida	Unidades logarit.	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10	2,30 E+10

Del cálculo de las concentraciones máximas admisibles en el vertimiento, que permiten el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor, se puede concluir:

- La concentración máxima admisible de Aceites y Grasas en el efluente es 10,6 mg/l en el año 2014 y se reduce hasta 8,1 mg/l en el año 2024, lo que corresponde a una eficiencia de remoción requerida del 84 % y 88 %, respectivamente. Esta eficiencia de remoción podrá ser lograda solamente con la modificación del sistema de tratamiento inicialmente propuesto, incluyendo un separador de aceites y grasas en la etapa de tratamiento primario.

La densidad máxima admisible de Coliformes Termotolerantes en el efluente es de 10 093 NMP/100mL en el año 2014 y 7 772 NMP/100mL en el año 2024. Dado que estos valores están muy próximos al LMP de 10 000 NMP/100mL no será necesario modificar el sistema de tratamiento y su cumplimiento podrá ser garantizado mediante el sistema de desinfección con UV propuesto.



1.31.8 Evaluación de la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla

El oxígeno disuelto llega a la concentración mínima aguas abajo y distante de la zona de mezcla debido al consumo de oxígeno en la oxidación microbológica de materia orgánica y la nitrificación del nitrógeno amoniacal para luego recuperarse a través de la reaeración y la producción de oxígeno de las algas.

Para la evaluación del cumplimiento del ECA-Agua se desarrolla en lo siguiente la evaluación simplificada del cumplimiento del ECA-Agua para Oxígeno Disuelto con la metodología propuesta por HYDROSCIENCE (1971), aplicando las condiciones más críticas, las cuales se encuentran en la época de estiaje, debido a los bajos caudales disponibles para la dilución y las temperaturas del agua relativamente altas. Asimismo, se aplica el caudal de aguas residuales máximo horario del año 2024.

El método simplificado corresponde a la siguiente inequación:

$$ECA_{O_2} \leq C_{O_2,RH} - D_C$$

donde:

ECA_{O_2} es el ECA-Agua de oxígeno disuelto en la categoría 3: 5,0 mg O_2 /L

$C_{O_2,RH}$ es la concentración de oxígeno disuelto medida en el cuerpo receptor en el periodo de estiaje: 8,67 mg O_2 /L

D_C es el déficit máximo de oxígeno disuelto, que se calcula con (HYDROSCIENCE, 1971):

$$D_C = L_0 \cdot \phi^{1-\phi} = 39,4 \cdot 6,1^{\frac{6,1}{1-6,1}} = 4,53 \text{ mg/l}$$

L_0 es la demanda de oxígeno disuelto debido al consumo de materia orgánica ($\text{mg O}_2/\text{L}$), que se calcula con:

$$L_0 = \frac{\text{DBO}_{U,\text{vert}} \cdot Q_{\text{vert}} + \text{DBO}_{U,\text{RH}} \cdot Q_{\text{RH,crit}}}{(Q_{\text{vert}} + Q_{\text{RH,crit}})} = \frac{320 \cdot 1093 + 0 \cdot 7780}{(1093 + 7780)} = 39,4 \text{ mg/l}$$

$\text{DBO}_{U,\text{vert}}$ es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del vertimiento, que para aguas residuales domesticas-municipales luego de un tratamiento secundario puede ser determinada con la siguiente relación empírica con la DBO del ensayo de cinco días:

$$\text{DBO}_{U,\text{vert}} = \text{DBO}_{5,\text{vert}} \cdot 3,20 = 100 \cdot 3,20 = 320 \text{ mg/l}$$

$\text{DBO}_{U,\text{RH}}$ es la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del cuerpo de agua determinada en un ensayo de laboratorio de 20 días. En el caso específico, donde el análisis de DBO_5 ha demostrado la ausencia de carga orgánica en el cuerpo receptor (véase cap. VI.2.6), la $\text{DBO}_{U,\text{RH}}$ es supuesta 0 mg/l.

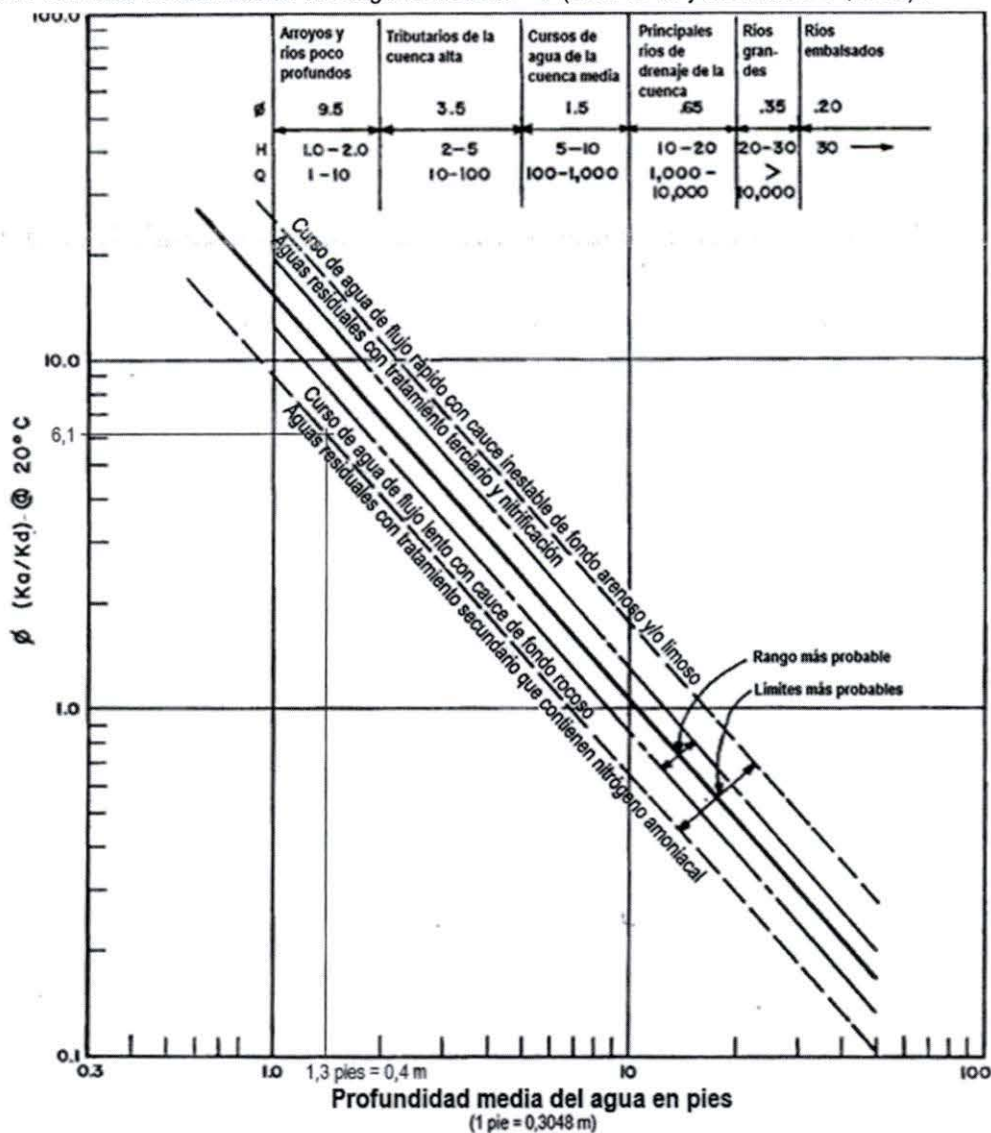
$Q_{\text{RH,crit}}$ es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, determinado en capítulo VI.2.5: 7780 L/s

Q_{vert} es el caudal máximo del vertimiento, determinado en capítulo VI.2.2.3 para el año 2024: 1093 L/s.

es la tasa de asimilación definida con K_a/K_d (tasa de reaeración entre tasa de desoxigenación carbonácea), que se determina en función de la profundidad media del cuerpo natural aplicando el siguiente gráfico y considerando las condiciones: curso de agua de flujo rápido y fondo rocoso, aguas residuales con tratamiento secundario que contienen nitrógeno amoniacal.



Gráfico N°36: Tasa de asimilación de oxígeno disuelto - ϕ (SALAS H. y MARTINO P., 1990).



Edwin Ventura Gh.



Con estos datos de ingreso obtenemos:

$$ECA_{O_2} \leq C_{O_2, RH} - D_C$$

$$5,0 \leq 8,67 - 4,53$$

$$5,0 \not\leq 4,14$$

Esto indica que la concentración mínima de oxígeno disuelto aguas abajo de la zona de mezcla ocasionada por la oxidación de la materia orgánica contenida en el efluente será menor del ECA-Agua. Por lo tanto, se deberá reducir la carga orgánica del vertimiento.

La máxima demanda admisible de oxígeno disuelto debido a consumo de materia orgánica ($L_{0,max}$) después de la mezcla completa se calcula con:

$$L_{0,max} = \frac{(C_{O_2, RH} - ECA_{O_2})}{\phi^{1-\phi}}$$

$$L_{0,max} = \frac{(8,67 - 5)}{6,1^{1-6,1}} = \frac{3,67}{0,115} = 31,91 \text{ mg/l}$$

Para lograr esta demanda máxima de oxígeno disuelto se puede reducir el caudal del vertimiento mediante el reúso de parte de las aguas residuales, o la concentración de la DBO a través de un mayor nivel de tratamiento.

Dejando invariada la carga orgánica del vertimiento, el caudal máximo admisible para el cumplimiento del ECA-Agua de Oxígeno Disuelto, se calcula con:

$$Q_{\text{vert}} = \frac{(L_{0,\text{max}} - \text{DBO}_{\text{U,RH}}) \cdot Q_{\text{RH,crit}}}{\text{DBO}_{\text{U,vert}} - L_{0,\text{max}}} = \frac{(31,91-0) \cdot 7780}{320-31,91} = 862 \text{ L/s}$$

Lo que significa, que a partir del año 2014 una parte de las aguas residuales deberán ser reusadas, llegando al 20 % de reúso en el año 2024.

Por el otro lado, dejando invariado el caudal del vertimiento, la concentración máxima admisible de la Demanda Bioquímica de Oxígeno última del vertimiento se calcula con:

$$\text{DBO}_{\text{U,vert}} = \frac{L_{0,\text{mas}} \cdot (Q_{\text{vert}} + Q_{\text{RH,crit}}) - \text{DBO}_{\text{U,RH}} \cdot Q_{\text{RH,crit}}}{Q_{\text{vert}}} = \frac{31,91 \cdot (1093+7780) - 0 \cdot 7780}{1093} = 259,0 \text{ mg/l}$$

La concentración máxima admisible de la DBO₅ del vertimiento se calcula con:

$$\text{DBO}_{5,\text{vert}} = \frac{\text{DBO}_{\text{U,vert}}}{3,2} = 81,0 \text{ mg/l}$$

Para lograr esta concentración de la DBO₅ en las aguas residuales tratadas, se deberá rediseñar el sistema de tratamiento, previendo mayores tiempos de aireación y, en consecuencia, tanques de lodos activados más grandes, logrando así concentraciones de DBO₅ en el efluente menores de 81 mg/L.

1.31.9 Análisis de alternativas de la disposición final de aguas residuales tratadas

La evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en el cuerpo receptor ha evidenciado un riesgo de incumplimiento de los ECA-Agua de Aceites y Grasas, Coliformes Termotolerantes y Oxígeno Disuelto aguas abajo de la zona de mezcla.

Por lo tanto, se ha evaluado dos alternativas que permiten eliminar el riesgo de impactos no aceptables, que se describen a continuación:

Reducción del caudal de vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas

La evaluación realizada indicó los siguientes caudales de vertimiento admisibles que permitirán el cumplimiento de los ECA-Agua:

Parámetro crítico	Aceites y Grasas	Coliformes Termotolerantes	Oxígeno disuelto
Caudal máximo admisible para cumplimiento del ECA-Agua	409 L/s	822 L/s	862 L/s
Caudal máximo de aguas residuales en el año 2014	814 L/s		
Caudal máximo de aguas residuales en el año 2024	1093 L/s		
Caudal a ser reusado 2014	405 L/s	0 L/s	0 L/s
Caudal a ser reusado 2024	684 L/s	271 L/s	231 L/s

El parámetro más crítico para el cumplimiento de los ECA-Agua son los Aceites y Grasas, resultando en un caudal admisible de vertimiento de 409 L/s, lo que resulta en un caudal de 405 L/s a reusarse en el año 2014 incrementándose a 684 L/s en el año 2024.

Considerando que la calidad del agua residual tratada a nivel de los LMP permite un reúso en el riego de cultivos industriales (agricultura altamente mecánica) o en el riego de cultivos de tallo alto con sistemas de

goteo⁵¹, esta alternativa no generaría mayores costos de tratamiento de las aguas residuales. A lo contrario, la alternativa podría mejorar la viabilidad económica del proyecto, dado que la EPS podría cobrar a los agricultores el servicio de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso⁵². Sin embargo, será necesario desarrollar un proyecto de reúso de aguas residuales en cooperación con la junta de los agricultores locales o una empresa agrícola.

Reducción de las concentraciones a través de un mayor nivel de tratamiento de los parámetros críticos

La evaluación realizada indicó que el vertimiento con un caudal máximo de 1093 L/s en el año 2024 no debería superar las siguientes concentraciones para poder cumplir con los ECA-Agua en el cuerpo receptor:

Parámetro crítico	Aceites y Grasas	Coliformes Termotolerantes	DBO ₅
Concentración máxima en las aguas residuales crudas	67,0 mg/l	2,3E+10 NMP/100mL	664,4 mg/l
Concentración máxima admisible para cumplimiento del ECA-Agua	8,1 mg/l	7772 NMP/100mL	81,0 mg/l

Para lograr estas concentraciones máximas en el efluente, el sistema de tratamiento de aguas residuales debería ser modificado según el siguiente detalle:

- Etapa primaria: Separadores de Aceites y Grasas.
- Etapa secundaria: aireación prolongada para lograr un mayor grado de oxidación de la materia orgánica.

El análisis de la viabilidad económica de estas modificaciones del sistema de tratamiento inicialmente propuesto, indicó un incremento significativo del costo de construcción y operación. Por lo tanto, se descarta la alternativa de un mayor grado de tratamiento y se implementará el reúso parcial de las aguas residuales tratadas.



1.31.10 Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural

En lo siguiente se propone el programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua, el cual comprende la determinación de las cargas contaminantes en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial.

Tabla N°19: Programa de control del efluente

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL ³	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
				ZONA	NORTE	ESTE
V-1	Salida de la PTAR antes de la descarga y reúso	Caudal, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Aceites y grasas (MEH), Coliformes Termotolerantes (44,5°C), Huevos de Helminto ¹ , DBO ₅ , DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfatos, Metales ² , Cromo hexavalente, Fenoles	Mensual	XX	XXXXXXXX	XXXXXX

⁵¹ Guías OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises, Volúmenes 1-4, 3ra edición, 2006

⁵² Ley N° 30045, Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento y su reglamento (D.S. 015-2013-VIVIENDA).

Tabla N°20: Programa de control de la calidad del cuerpo natural de agua

CÓDIGO	CUERPO NATURAL DE AGUA		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL ³	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
	NOMBRE	CAT. ECA				ZONA	NORTE	ESTE
RH-1	Río XXXXX	3	50 m aguas arriba del vertimiento	pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Aceites y grasas (MEH), Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , DQO, Sulfatos, Metales ² , Cromo hexavalente, Fenoles	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-2	Río XXXXX	3	500 m aguas abajo del vertimiento en el centro del río		Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-3 ⁵	Río XXXXX	3	2 km aguas abajo del vertimiento	Oxígeno Disuelto	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-4 ⁵	Río XXXXX	3	4 km aguas abajo del vertimiento	Oxígeno Disuelto	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-5 ⁵	Río XXXXX	3	6 km aguas abajo del vertimiento	Oxígeno Disuelto	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-6 ⁵	Río XXXXX	3	8 km aguas abajo del vertimiento	Oxígeno Disuelto	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX
RH-7 ⁵	Río XXXXX	3	10 km aguas abajo del vertimiento	Oxígeno Disuelto	Mensual en la época de estiaje ⁴	XX	XXXXXXXX	XXXXXX

(1) En el efluente serán controlados también los Huevos de Helminto, dado que parte de las aguas residuales será reusada.

(2) Los metales considerados en la categoría ECA-Agua 3 y determinados con ICP son: Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeseo, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Sodio y Zinc.

(3) La frecuencia de control ha sido establecida en función del volumen anual de aguas residuales vertidas:

$V_{\text{anual}} = \text{Caudal medio en el año 2024} \times 365 \text{ días} = 607 \text{ L/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ días} / 1000 \text{ L} = 19,15 \text{ M m}^3$. Valor que está en el rango $>9 \text{ M m}^3$ y resulta en una frecuencia mensual, lo que está conforme con la frecuencia mínima establecida en la R.M. N°273-2013-VIVIENDA, "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales".

(4) Dado que el caudal medio del vertimiento es constante a lo largo del año, el periodo crítico para el cumplimiento de los ECA-Agua es la época de estiaje. Por lo tanto, el control en el cuerpo receptor será realizado en los meses junio, julio y agosto solamente.

(5) Dado que la evaluación indicó un riesgo de incumplimiento del ECA-Agua de oxígeno disuelto, se establece varios puntos adicionales aguas abajo del vertimiento para el control de las concentraciones mínimas de oxígeno disuelto.

La toma de muestra del efluente y en el cuerpo receptor será realizada en las mismas fechas, y será realizada en conformidad con R.M. N°273-2013-VIVIENDA, "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales" y la R.J. N°010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", respectivamente.

I.31.11 Conclusiones

- La evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en el cuerpo receptor ha evidenciado un riesgo de incumplimiento de los ECA-Agua de Aceites y Grasas, Coliformes Termotolerantes y Oxígeno Disuelto aguas debajo de la zona de mezcla. Por lo tanto, se ha evaluado dos alternativas que permiten eliminar el riesgo de impactos no aceptables: la reducción del caudal del vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas y la reducción de las concentraciones a través de un mayor nivel de tratamiento de los parámetros críticos.
- El análisis técnico-económico indicó que un mayor nivel de tratamiento obligaría a la modificación de sistema de tratamiento inicialmente propuesto, lo que resultaría en un incremento significativo de los costos de construcción y operación. Por lo tanto se descarta esta posibilidad y prevé el reúso parcial de las aguas residuales tratadas.
- La calidad del efluente cumplirá los LMP, lo que permitirá el riego de cultivos industriales o de cultivos de tallo alto con riego a goteo.
- El caudal máximo de aguas residuales vertidas al río no excederá 409 L/s, lo que permitirá cumplir con los ECA-Agua también en las condiciones más críticas de un caudal del cuerpo natural de agua mínimo.
- El volumen medio de aguas residuales reusado será de 4,0 Hm³ en el año 2014, incrementándose gradualmente hasta 7,2 Hm³ en el año 2024, lo que permitirá regar un área de 400 hectáreas en el año 2014 y 720 hectáreas en 2024, aproximadamente.
- El programa de control propuesto comprende la determinación de las cargas contaminantes de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial en dos puntos de control establecidos a 50 m aguas arriba y a 500 m aguas abajo del vertimiento. Adicionalmente, se establece varios puntos para el control del oxígeno disuelto a una distancia de 2, 4, 6, 8 y 10 km aguas abajo del vertimiento. El control del efluente será realizado con una frecuencia mensual, mientras que el control en el cuerpo natural de agua en la época de estiaje en los meses junio, julio y agosto solamente.



EE



I.32. Vertimiento de aguas residuales municipales tratadas a una laguna

Índice

VI.3.1	Descripción del proyecto	123
VI.3.2	Características del agua residual tratada	124
VI.3.2.1	Determinación de la lista de parámetros a evaluarse	124
VI.3.2.2	Determinación de las concentraciones máximas	124
VI.3.2.3	Determinación del caudal medio y máximo de aguas residuales tratadas vertidas	126
VI.3.2.4	Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente	127
VI.3.3	Características del cuerpo receptor	127
VI.3.3.1	Morfometría y batimetría	127
VI.3.3.2	Corrientes	129
VI.3.3.3	Estratificación térmica y perfil vertical de la densidad del agua	129
VI.3.3.4	Índice de intercambio del agua	130
VI.3.3.5	Calidad del agua en el cuerpo natural	131
VI.3.3.6	Usos del agua en el cuerpo receptor	132
VI.3.4	Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental a largo plazo	132
VI.3.4.1	Análisis de alternativas de la disposición final de aguas residuales tratadas	133
VI.3.5	Evaluación del cumplimiento del ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla	134
VI.3.5.1	Evaluación de la dilución requerida	134
VI.3.5.2	La evaluación de la dilución inicial mínima – S_a	135
VI.3.6	Determinación de la extensión máxima de la zona de mezcla	136
VI.3.7	Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua	138
VI.3.8	Conclusiones	139

I.32.1 Descripción del proyecto

En lo siguiente se resume las características del proyecto que tienen relevancia para la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo natural de agua:

- Planta de tratamiento de las aguas residuales de una población urbana de 55 000 habitantes. El crecimiento de la población proyectado es del 2 %.
- En la ciudad servida existen actividades industriales, cuales mataderos, industria textil de lana e industria alimenticia (panaderías y bebidas alcohólicas y no alcohólicas y productos lácteos).
- La ciudad es un importante destino turístico disponiendo de 7 500 camas turísticas. El crecimiento local del sector turismo es del 5 %.
- En la actualidad, el vertimiento de aguas residuales está inscrito en el Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Agua Residual (PAVER) y es realizado sin tratamiento.
- El tratamiento proyectado abarca tratamiento primario con criba media y desarenador, y tratamiento secundario mediante lagunas anaeróbica, facultativas y de maduración con los siguientes detalles:
 - Una laguna anaeróbica con una superficie de 2 ha y un tiempo de detención total de 3 días.
 - Dos lagunas facultativas con una superficie total de 18 ha y un tiempo de detención total de 15 días.
 - Una laguna de maduración con una superficie de 7 ha y un tiempo de detención total de 5 días.
- El sistema de tratamiento es diseñado para cumplir con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S. N° 003-

2010-MINAM) y el caudal de diseño es determinado para el probable número de habitantes en el año 2024, calculado con una tasa de crecimiento de la población del 3% y de las camas turísticas del 5%.

- Las aguas residuales tratadas serán descargadas a una laguna de Categoría ECA-Agua 4 "Conservación del ambiente acuático", ubicada en una altitud de más de 3000 msnm.
- El vertimiento será realizado mediante emisor subacuático para evitar el contacto de las personas y animales terrestres con las aguas de la zona de mezcla.

I.32.2 Características del agua residual tratada

I.32.2.1 Determinación de la lista de parámetros a evaluarse

En la siguiente tabla se determina la lista de parámetros a evaluarse en función de las características de las aguas residuales municipales y de las actividades industriales presentes en el área servida por el servicio de alcantarillado.

Tabla N°21: Lista de parámetros a evaluarse

Aguas residuales municipales ¹	Aguas residuales industriales de mataderos ²	Aguas residuales industriales generadas en la industria textil de lana ³	Aguas residuales industriales generadas en la industria alimenticia ⁴	Parámetro reglamentado con un ECA-Agua?	Lista de parámetros a evaluarse
	AyG	AyG	AyG	Ausencia película visible	AyG (evaluación cualitativa)
C.term.				Si	C.term.
DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅	Si	DBO ₅
	DQO	DQO	DQO	No	
SST	SST	SST	SST	Si	SST
P-PO ₄	P		P	Si	P-PO ₄
N _{total}	N _{total}	N _{total}	N _{total}	Si	N _{total}
N-NH ₃				Si	N-NH ₃
Metales		Metales (Cr,Zn)		Si	Metales
		Piretroides sintéticos		No	
		Pesticidas		No	
		Tricloroetileno		No	

Legenda: (AyG) aceites y grasas, (C. term.) coliformes termotolerantes, (DBO₅) demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, (DQO) demanda química de oxígeno, (metales) todos los metales y metaloides determinados con ICP e indicados en la categoría ECA-Agua 4: Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc, (N-NH₃) amoníaco, (N_{total}) nitrógeno total, (P) fósforo, (P-PO₄) fosfatos como fósforo, (SST) sólidos suspendidos totales.

- (1) Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2013) Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas, capítulo 1.2, tabla n°2.
- (2) Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana de Santiago de Chile (1998), Guía para el control y prevención de la contaminación industrial - industria procesadora de la carne.
- (3) Fuente: Ministerio del Ambiente (España 2004), Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector textil
- (4) Fuente: COMISIÓN EUROPEA (2005), Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles en las Industrias de Alimentación, Bebida y Leche.

I.32.2.2 Determinación de las concentraciones máximas

Para los parámetros considerados en el D.S. N°003-2010-MINAM se puede suponer que las concentraciones máximas correspondan a los Límites Máximos Permisibles.0

Tabla N°22: Concentraciones máximas de los parámetros considerados en el D.S. N°003-2010-MINAM

Parámetro	Unidad	LMP (D.S. N° 003-2010- MINAM)	Concentración máxima proyectada
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	200
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150	150
Aceites y grasas	mg/L	20	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	10 000

Para poder determinar las concentraciones máximas de los parámetros no reglamentados con un LMP se ha caracterizado la calidad de las aguas residuales crudas, que en la actualidad son vertidas al cuerpo receptor, y se ha estimado la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento proyectado a base de valores referenciales indicadas en la literatura especializada. Se ha tomado muestras singulares con una frecuencia trimestral en el horario de caudal máximo, con el propósito de evaluar la variabilidad mensual de los caudales y de la calidad de las aguas residuales vertidas.

Tabla N°23: Concentraciones y caudales máximos de las aguas residuales vertidas y estimación de la concentración máxima en el efluente tratado.

	Resultados Muestreo 1	Resultados Muestreo 2	Resultados Muestreo 3	Resultados Muestreo 4	Valor máximo	Eficiencia de remoción PTAR	Concentra- ción máxima en el efluente tratado	
Fecha de muestreo	06/03/2013	13/06/2013	16/09/2013	06/12/2013	---	---	---	
Hora de muestreo	08:30	08:30	08:30	08:30	---	---	---	
Caudal	L/s	168	187	194	179	---	---	
Nombre Laboratorio	XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC	---	---	---	
Número del informe de Ensayo analítico	XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX	---	---	---	
OD	mg O ₂ /L	2,46	2,02	4,15	3,44	2,02	0%	2,02
Temperatura	°C	17,80	17,42	16,45	18,42	18,42	0%	18,42
Conductividad	µS/cm	1684	1267	1358	1523	1684	0%	1684
pH	---	7,45	7,29	7,70	7,56	7,70	Variable	6,5-8,5 ¹
AyG	mg/L	24,34	19,42	13,56	35,21	35,21	43% ²	20 ¹
DBO ₅	mg/L	459,40	426,58	389,74	301,70	459,40	78% ²	100 ¹
DQO	mg/L	793,50	812,49	753,28	647,98	812,49	75% ²	200 ¹
SST	mg/L	735	698	726	687	735	80% ²	150 ¹
C.term	NMP/ 100 ml	4,60E+08	2,40E+07	9,80E+06	7,20E+07	4,60E+08	99,9978% ²	10000 ¹
P-PO ₄	mg/L	28,54	26,29	35,85	25,68	35,85	5%	34,1
N _{total}	mg/L	72,9	53,4	74,7	63,6	74,73	20%	59,8
N-NH ₄	mg/L	68,23	49,53	61,65	53,99	68,23	15%	58,0
N-NH ₃ ³	mg/L	0,64	0,32	0,93	0,68	0,93	0%	0,93
Arsénico	mg/L	0,0200	0,0169	0,0368	0,0274	0,0368	0%	0,0368
Bario	mg/L	0,2002	0,2492	0,5027	0,2436	0,5027	0%	0,5027
Cadmio	mg/L	0,0005	0,0005	0,0008	0,0003	0,0008	0%	0,0008
Cobre	mg/L	0,0814	0,0670	0,0649	0,0664	0,0814	0%	0,0814
Mercurio	mg/L	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0%	0,0010
Níquel	mg/L	0,0038	0,0035	0,0052	0,0146	0,0146	0%	0,0146
Plomo	mg/L	0,0237	0,0143	0,0192	0,0104	0,0237	0%	0,0237
Zinc	mg/L	0,3426	0,2965	0,3002	0,1510	0,3426	0%	0,3426

(1) Concentración máxima en el efluente = Límite Máximo Permisible (D.S. N° 003-2010-MINAM).

(2) Eficiencia de remoción calculada con LMP/Valor máximo

(3) La fracción de NH₃ no ionizada fue determinada según la siguiente ecuación (Wood, 1993 y Emerson et al. 1975):

$$N-NH_3 = N-NH_4 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + 10^{(pH - 0.09018 - (2729.92/(273.2 + T)))}} \right)$$

1.32.2.3 Determinación del caudal medio y máximo de aguas residuales tratadas vertidas

Para la estimación del caudal medio y máximo del vertimiento se aplica los criterios propuestos en la Norma OS.100 "Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria" y en la Norma IS.010 "Instalaciones Sanitarias para Edificaciones":

- Dotación de agua: 180 L/hab/d (en clima frío)
- Dotación de agua para los establecimientos de hospedaje: 300 L/huésped/d
- Variación máxima anual de la demanda horaria: 1,8 a 2,5
- Caudal de contribución de alcantarillado: 80 % del caudal de agua potable consumida.

Con estas variables el caudal medio anual y máximo horario se calcula con:

$$Q_{\text{vert,medio}} = \frac{(180 * 55\,000 + 300 * 7\,500) * 0,80}{24 * 60 * 60} = 112,5 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{vert,max}} = 112,5 * (1,8 \text{ a } 2,5) = 202,5 - 281,3 \text{ L/s}$$

Para corroborar el caudal medio y máximo estimado, el día 15 de octubre de 2013 se ha realizado la medición continua del caudal actualmente vertido mediante el uso de un correntómetro acústico. Se seleccionó el mes de octubre, dado que corresponde a la temporada turística alta.

Gráfico N°37: Caudales horarios de aguas residuales medidos el día 15/10/2013

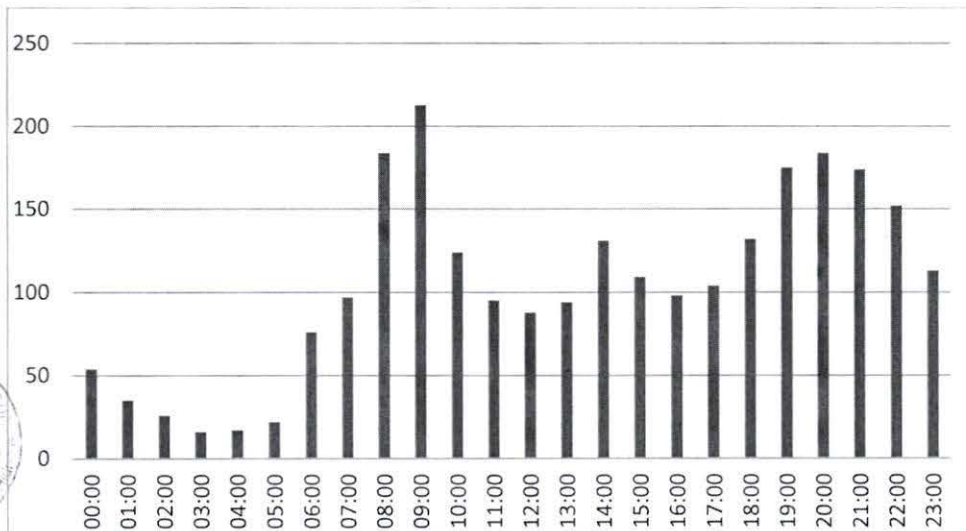


Tabla N°24: Caudales horarios medios y máximos medidos el día 15/10/2013

Caudal medio	L/s	105
Caudal máximo	L/s	213
Relación	---	1 : 2,0

Como demuestra la tabla anterior, los resultados de la medición continua del caudal actualmente vertido confirmaron las estimaciones del caudal medio. Asimismo, se encontró una relación del caudal máximo horario con el caudal medio de 1:2,0.

Para determinar el caudal máximo futuro se debe considerar el crecimiento proyectado de la población y del sector turismo:

Con el número de habitantes de 55 000 en el año 2013, un crecimiento de la población proyectado del 2%, la población en el año 2024 se calcula con:

$$\text{Hab}_{2024} = \text{Hab}_{2013} * (1+0,02)^{11 \text{ años}} = 68 \ 386 \text{ habitantes}$$

Con 7 500 camas turísticas en el año 2013, un crecimiento del sector turismo proyectado del 5 %, las camas turísticas en el año 2024 se calcula con:

$$\text{CT}_{2024} = \text{CT}_{2013} * (1+0,05)^{11 \text{ años}} = 12 \ 828 \text{ camas turísticas}$$

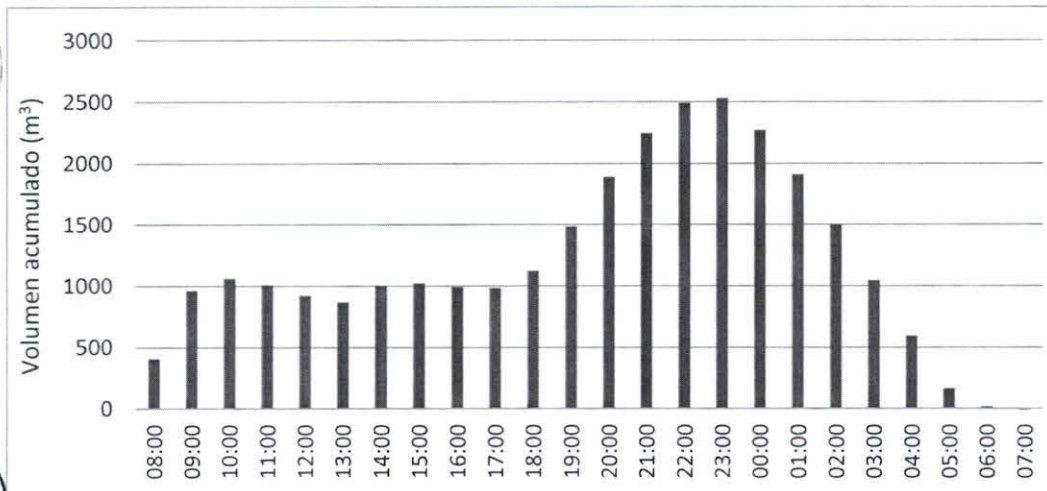
Con esta proyección de la población y de las camas turísticas el caudal medio anual se calcula con:

$$Q_{\text{vert}} = \frac{(180 * 68 \ 386 + 300 * 12 \ 828) * 0,8}{24 * 60 * 60} = 150 \text{ L/s}$$

Esto corresponde a un incremento del caudal medio del 33% en 10 años.

Para poder determinar el caudal máximo horario del vertimiento, se deberá considerar el gran volumen de las lagunas de estabilización, lo que resultará en la eculización del caudal. Considerando los caudales horarios medidos, el incremento promedio del 33% para el año 2024 y una descarga de la PTAR diseñada para un caudal continuo de 150 L/s, es posible calcular el volumen requerido para la eculización del caudal.

Tabla N°25: Volumen requerido para la eculización del caudal



El volumen máximo requerido para eculizar el caudal horario hasta el nivel del caudal medio es de 2531 m³. Considerando el área total neto de las lagunas de 18 ha, se calcula un incremento del nivel del agua máximo de 0,94 cm, lo que demuestra la alta capacidad de eculización del flujo de las lagunas de estabilización. Por lo tanto, para la evaluación del impacto del vertimiento en el cuerpo receptor se aplica el caudal medio calculado para el año 2024 (150 L/s).

1.32.2.4 Eliminación de los residuos sólidos contenidos en el efluente

Los sistemas de tratamiento (criba media, desarenador y lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración) eliminarán los residuos sólidos, la materia flotante persistente y el material sedimentable contenidos en las aguas residuales antes de la descarga al cuerpo natural de agua.

1.32.3 Características del cuerpo receptor

En lo siguiente se presenta un resumen de los resultados del estudio limnológico del cuerpo receptor que abarca la morfometría, la batimetría, las corrientes, el perfil vertical de la densidad del agua natural en el punto de vertimiento en las diferentes estaciones del año y el índice de intercambio de agua.

1.32.3.1 Morfometría y batimetría

La morfometría de un lago determina en gran medida los procesos físicos de la mezcla de un vertimiento de aguas residuales. En este sentido, el estudio morfométrico que se presenta contiene los datos de ingreso

de los modelos con los cuales se determina la extensión de la zona de mezcla y el impacto del vertimiento en el cuerpo receptor.

La batimetría de la laguna fue determinada en el mes de agosto, que corresponde a la época de estiaje y al nivel de agua mínimo. Las medidas de la profundidad se realizaron con una sonda ecográfica tipo XXX, con rango de medición hasta 200 m de profundidad y GPS integrado. Se realizaron 15 transectos transversales y 3 transectos longitudinales.

A base de los datos recopilados y mediante su georreferenciación en un sistema de información geográfica, se elaboró el mapa batimétrico representado en la figura siguiente.

Gráfico N°38: Mapa batimétrico de la laguna XXX



En la tabla siguiente se determina el volumen de la laguna según el mapa batimétrico presentado.

Tabla N°26: Superficie y volumen acumulado de la laguna XXX

Profundidad (m)	Superficie del nivel (Ha)	Espesor del nivel (m)	Volumen del nivel (Hm ³)	Volumen acumulado (Hm ³)
0	764,4	2,5	19,11	19,11
5	559,4	5	27,97	47,08
10	406,9	5	20,345	67,425
15	260	5	13	80,425
20	141,7	5	7,085	87,51
25	48,1	5	2,405	89,915
30	10,2	5	0,51	90,425

En la tabla siguiente se indican los valores de los parámetros morfométricos de la laguna según el mapa batimétrico presentado.

Tabla N°27: Parámetros morfométricos de la laguna XXX

Parámetro	Unidad	Valor
Superficie	km ²	7,644
Longitud de la línea de costa	km	12,709
Longitud máxima	km	4,869
Anchura máxima	km	2,344
Profundidad máxima	m	32,4
Volumen	Hm ³	90,425
Profundidad media (= Volumen / Superficie)	m	11,8

1.32.3.2 Corrientes

Los vectores de velocidad de las corrientes fueron determinadas mediante el empleo de flotadores con vela de arrastre sumergida. Tales medidas se concentraron en la posición estimada del difusor subacuático en una distancia de 100 y 150 m desde la orilla norte-este de la laguna. Dado que la profundidad del agua en la zona estudiada es de menos de 5 metros, se ha medido la velocidad en una profundidad de 2,5 metros solamente.

Las mediciones fueron realizadas en cuatro fechas con una frecuencia trimestral para poder evaluar la variabilidad mensual de las corrientes de flujo. La duración de la medición era de 3 horas.

Tabla N°28: Corrientes de flujo en la laguna XXX

Punto de medición	Velocidad de flujo (cm/s)				Dirección de la corriente			
	06/03/2013	13/06/2013	16/09/2013	06/12/2013	06/03/2013	13/06/2013	16/09/2013	06/12/2013
A 100 m de la orilla N-E	1,2	2,1	3,4	2,6	S-N	N-S	N-S	N-S
A 150 m de la orilla N-E	1,4	2,0	3,8	2,9	S-N	N-S	N-S	N-S

La medición de las corrientes demostró que la dirección de flujo es siempre orientada en paralelo a la orilla, principalmente de norte a sur a excepción en marzo del 2013 cuando se observó una dirección de sur a norte.

1.32.3.3 Estratificación térmica y perfil vertical de la densidad del agua

Cuerpos de agua lenticos pueden mostrar una estratificación vertical de la densidad del agua que es causada por un gradiente térmico con mayores temperaturas en la superficie (=menor densidad) y menores temperaturas en el fondo (=mayor densidad).

En los lagos y lagunas alto-andinas localizados entre 2000 y 4000 msnm, tal como la laguna objeto del presente estudio, la dinámica térmica se aparta considerablemente de la que presentan los sistemas en las zonas bajas del trópico, debido a la altitud y a las consecuentes condiciones climáticas imperantes. Investigaciones realizadas en algunos lagos de alta montaña han contribuido al conocimiento del régimen térmico de estos, siendo en general clasificados como oligotérmicos con circulaciones frecuentes (es decir, nunca se estratifican), por lo cual, han sido llamados polimícticos fríos (Hutchinson & Loeffler, 1956; Rodan, 1992).

Sin embargo, para conocer la variabilidad de la densidad con la profundidad de la laguna XXX, se ha determinado los perfiles de temperatura en las diferentes estaciones del año. La medición fue realizada con el instrumento multiparamétrico modelo XXX, con un cable de una longitud de 30 metros. Como punto de medición se ha seleccionado el centro-norte de la laguna, donde la profundidad del agua es un máximo.

La densidad del agua fue calculada a base de la temperatura determinada con la siguiente ecuación que es aplicable para temperaturas entre 0 y 40°C a una presión de 1 atm (Comité International des Poids et Mesures, CIPM).



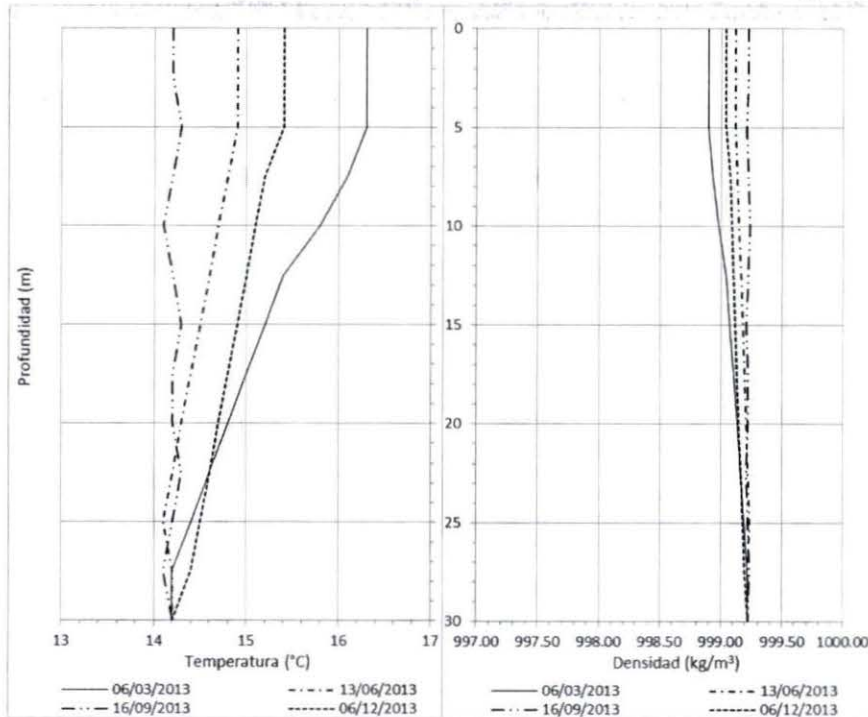
$$\rho(t) = 999,974950 \cdot \left(1 - \frac{(T - 3,983035)^2 \cdot (T + 301,797)}{522528,9 \cdot (T + 69,34881)} \right)$$

donde:

$\rho(t)$ es la densidad del agua en función de la temperatura, en kg/m^3 .

T es la temperatura del agua en $^{\circ}\text{C}$.

Gráfico N°39: Curvas de la estratificación térmica y de los perfiles de densidad en la laguna XXX.



La medición de los perfiles de temperatura demostró que la estratificación térmica también en los meses de verano es mínima ($\Delta T < 2^{\circ}\text{C}$); de igual forma, la estratificación de la densidad es mínima con una diferencia máxima entre superficie y fondo de $0,3 \text{ kg/m}^3$. Por lo tanto, se comprobó que se trata de un cuerpo de agua lenticó polimictico.

1.32.3.4 Índice de intercambio del agua

El índice de intercambio de agua ($II_{RH,crit}$) corresponde al caudal anual mínimo en la salida de la laguna ($Q_{anual,min}$), que fue determinado a base al registro histórico de caudales mensuales.

Tabla N°29: Caudales mensuales históricos medidos en la estación hidrológica XXXX, ubicada en la salida de la laguna XXX. (m^3/s)

Año	Caudales Medios Mensuales (m^3/s)												Promedio anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2009	6,94	12,69	14,41	6,46	6,46	6,17	5,58	5,75	6,34	6,60	6,61	6,60	7,55
2010	6,07	6,55	7,70	7,96	7,66	7,21	7,17	7,83	7,90	8,45	8,52	8,62	7,64
2011	8,52	24,24	24,15	19,59	9,56	9,30	9,36	9,33	9,13	9,97	9,82	10,13	12,76
2012	29,61	28,78	28,04	24,08	10,24	10,09	10,43	10,91	9,41	7,81	7,35	8,19	15,41
2013	10,93	18,39	22,18	14,08	8,43	7,83	7,84	8,00	8,10	8,24	8,37	8,52	10,91
Caudal anual mínimo:													7,55

$$II_{RH,crit} = Q_{anual,min} = 7,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.32.3.5 Calidad del agua en el cuerpo natural

Para determinar la calidad del cuerpo receptor del vertimiento, se ha tomado muestras de agua y se analizó sus características química-físicas en un laboratorio cuyos parámetros están acreditados antes INDECOPI.

Considerando la variabilidad estacional de las características de un cuerpo de agua léntico, se realizó cuatro tomas de muestra con una frecuencia trimestral en la ubicación del vertimiento proyectado. La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor fue efectuada en las mismas fechas en las cuales se determinó las corrientes y la estratificación térmica en el marco del estudio limnológico.

Las muestras fueron tomadas en una distancia de aprox. 200 m al sur de la desembocadura del principal tributario de la laguna a una distancia de aprox. 1 km de la descarga actual, lo que permite excluir la influencia del vertimiento en curso sobre la calidad del agua en el punto de control. Dado que la laguna XXX es un cuerpo de agua polimítico, es decir sin estratificación térmica significativa, se tomó las muestras en la superficie solamente.

Se analizó los parámetros, que están potencialmente presentes en las aguas residuales tratadas, que son aquellos definidos en el capítulo VI.3.2.1.

Tabla N°30: Concentraciones en el cuerpo natural de agua

		Resultados Muestreo 1	Resultados Muestreo 2	Resultados Muestreo 3	Resultados Muestreo 4	Concentración máxima	ECA Agua Categoría 4: Conservación del ambiente acuático- Lagunas y Lagos
Fecha de muestreo		06/03/2013	13/06/2013	16/09/2013	06/12/2013		
Hora de muestreo		09:30	10:30	09:00	09:30		
Nombre Laboratorio		XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC	XXXX SAC		
Número del informe de ensayo analítico		XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX	XXXX-XX		
Coordenada Norte (UTM-WGS84)	m	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX		
Coordenada Este (UTM-WGS84)	m	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX		
OD	mg O ₂ /L	6,86	6,78	6,98	6,68	6,68	5,0
Temperatura	°C	16,32	14,95	14,23	15,47	16,32	---
Conductividad	µS/cm	532	551	550	542	551	---
pH	---	7,91	7,69	7,78	7,96	7,96	6,5-8,5
AyG	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	0	Ausencia película
DBO ₅	mg/L	<2	<2	<2	<2	0	5
C.term	NMP/100ml	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	0	1000
P-PO ₄	mg/L	0,049	0,053	<0,030	<0,030	0,053	0,40
N _{total}	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	0	1,6
N-NH ₄	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0	---
N-NH ₃ *	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,02
Arsénico	mg/L	0,0071	0,0065	0,0066	0,0079	0,0079	0,01
Bario	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0	0,7
Cadmio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0	0,004
Cobre	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0	0,02
Mercurio	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0	0,0001
Níquel	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0	0,025
Plomo	mg/L	0,0004	0,0001	<0,0004	<0,0004	0,0004	0,001
Zinc	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0	0,03

(*) La fracción de NH₃ no ionizada es determinada según la siguiente ecuación (Wood, 1993 y Emerson et al. 1975):

$$N-NH_3 = N-NH_4 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + 10^{(pH - 0.09018 - (2729.92/(273.2 + T)))}} \right)$$

La caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor evidenció que ninguno de los parámetros evaluados excede los ECA-Agua de la categoría 4.

1.32.3.6 Usos del agua en el cuerpo receptor

En la proximidad del punto de descarga proyectado no existen usos del agua, como tomas de agua para uso poblacional o agrícola, áreas de actividades recreativas de contacto primario o áreas de acuicultura.

1.32.4 Evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental a largo plazo

Para la evaluación del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales tratadas en el cuerpo natural lenticó a largo plazo, en lo siguiente se calcula el balance de masa de todos los parámetros potencialmente contenidos en las aguas residuales tratadas.

$$C_0 = \frac{(C_{RH} \cdot II_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(II_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

donde:

- C_0 es la concentración en el cuerpo receptor en el largo plazo.
- C_{RH} es la concentración máxima en el cuerpo receptor, indicada en el capítulo VI.3.3.5.
- C_{vert} es la concentración máxima proyectada en las aguas residuales tratadas, indicada en el capítulo VI.3.2.2.
- $II_{RH,crit}$ es el índice de intercambio de agua crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución, indicado en el capítulo VI.3.3.4.
- Q_{vert} es el caudal medio anual del vertimiento en el año 2024, indicado en el capítulo VI.3.2.3.

Para la evaluación de todos los parámetros contenidos potencialmente en el efluente, se elaboró el siguiente cuadro que contiene la lista completa de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, la concentración calculada para cada parámetro en el cuerpo receptor en el largo plazo y el ECA-Agua correspondiente.

Tabla N°31: Balance de masa y evaluación del cumplimiento del ECA-Agua en el largo plazo.

Parámetro	Q_{vert}	C_{vert}	$II_{RH,crit}$	C_{RH}	C_0	C_{ECA}	EVALUACIÓN
AyG	150 L/s	20 mg/L	7550 L/s	0,00 mg/L	0,39 mg/L	Ausencia película	No hay ECA-Agua.
DBO ₅	150 L/s	100 mg/L	7550 L/s	0 mg/L	2 mg/L	5	Cumple ECA-Agua.
DQO	150 L/s	200 mg/L O ₂	7550 L/s	0 mg/L O ₂	4 mg/L O ₂	---	No hay ECA-Agua.
SST	150 L/s	150 mg/L O ₂	7550 L/s	0 mg/L O ₂	3 mg/L O ₂	25	Cumple ECA-Agua.
C.term	150 L/s	10 000 NMP/100mL	7550 L/s	0 NMP/100mL	195 NMP/100mL	1000	Cumple ECA-Agua.
P-PO ₄	150 L/s	34,06 mg/L	7550 L/s	0,05 mg/L	0,72 mg/L	0,4	Excede ECA-Agua.
N _{total}	150 L/s	59,78 mg/L	7550 L/s	0,00 mg/L	1,16 mg/L	1,6	Cumple ECA-Agua.
N-NH ₄	150 L/s	58,00 mg/L	7550 L/s	0,00 mg/L	1,13 mg/L	---	No hay ECA-Agua.
N-NH ₃	150 L/s	0,93 mg/L	7550 L/s	0,00 mg/L	0,02 mg/L	0,02	Cumple ECA-Agua.
Arsénico	150 L/s	0,0368 mg/L	7550 L/s	0,0079 mg/L	0,0084 mg/L	0,01	Cumple ECA-Agua.
Bario	150 L/s	0,5027 mg/L	7550 L/s	0,0000 mg/L	0,0098 mg/L	0,7	Cumple ECA-Agua.
Cadmio	150 L/s	0,0008 mg/L	7550 L/s	0,0000 mg/L	0,0000 mg/L	0,004	Cumple ECA-Agua.
Cobre	150 L/s	0,081 mg/L	7550 L/s	0,000 mg/L	0,002 mg/L	0,02	Cumple ECA-Agua.
Mercurio	150 L/s	0,0010 mg/L	7550 L/s	0,0000 mg/L	0,0000 mg/L	0,0001	Cumple ECA-Agua.
Níquel	150 L/s	0,0146 mg/L	7550 L/s	0,0000 mg/L	0,0003 mg/L	0,025	Cumple ECA-Agua.
Plomo	150 L/s	0,0237 mg/L	7550 L/s	0,0004 mg/L	0,0008 mg/L	0,001	Cumple ECA-Agua.

Como evidencia la tabla antecedente la mayoría de los parámetros cumplirá el ECA-Agua en el largo plazo; sin embargo, la concentración de fosfatos (P-PO₄) excede el ECA-Agua. Para poder cumplir con el ECA-Agua, la carga de fosfatos debe ser reducida hasta el nivel de la carga admisible disminuyendo el caudal del vertimiento, las concentraciones del parámetro crítico o ambos.

El caudal máximo admisible, manteniendo las concentraciones invariadas, se calcula con:

$$Q_{\text{vert}} \leq \frac{I_{\text{RH,crit}} \cdot (C_{\text{ECA}} - C_{\text{RH}})}{(C_{\text{vert}} - C_{\text{ECA}})} = \frac{7550 \cdot (0,4 - 0,05)}{(34,06 - 0,4)} = 78 \text{ L/s}$$

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

$$C_{\text{vert}} \leq \frac{I_{\text{RH,crit}} \cdot (C_{\text{ECA}} - C_{\text{RH}})}{Q_{\text{vert}}} + C_{\text{ECA}} = \frac{7550 \cdot (0,4 - 0,05)}{150} + 0,4 = 18 \text{ mg/l}$$

1.32.4.1 Análisis de alternativas de la disposición final de aguas residuales tratadas

La evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en el cuerpo receptor ha evidenciado un riesgo de incumplimiento de los ECA-Agua de los fosfatos en el plazo largo.

Por lo tanto, se ha evaluado dos alternativas que permiten eliminar el riesgo de impactos no aceptables, que se describen a continuación:

Reducción del caudal de vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas

La evaluación realizada indicó que un caudal de vertimiento no mayor de 78 L/s permitirá el cumplimiento de los ECA-Agua. Esto significa que en el año 2014 un promedio de 35 L/s de aguas residuales deberán ser reusadas, lo que se incrementará hasta 72 L/s en el año 2024.

La calidad del agua residual tratada al nivel de los LMP permite un reúso en el riego de cultivos industriales (agricultura altamente mecánica) o en el riego de cultivos de tallo alto con sistemas de goteo.⁵³ Por lo tanto, esta alternativa no generaría mayores costos de tratamiento de las aguas residuales. A lo contrario, la alternativa podría mejorar la viabilidad económica del proyecto, dado que la EPS podría cobrar a los agricultores el servicio de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso⁵⁴.

El volumen anual a reusarse en el año 2024 son 2,3 Hm³ y el módulo de riego en la zona de proyecto tiene un promedio de 4 000 m³/año/hectárea; esto resulta en un área agrícola bajo riego de 568 hectáreas. Asimismo, el riego es realizado en la época seca solamente (junio-noviembre), lo que obligaría a la construcción de un reservorio de almacenamiento de las aguas residuales tratadas de aprox. 1,1 Hm³.

Sin embargo, una encuesta realizada entre los agricultores locales reveló, que no existe interés en el uso de las aguas residuales tratadas y en la inversión en la infraestructura de almacenamiento y de riego tecnificado, dado que los agricultores disponen de fuentes naturales de agua que permiten el riego a gravedad y a bajo costo. Asimismo, el clima alto-andino de la región no es propicio para los cultivos industriales o de tallo alto y la agricultura es realizada de forma manual; bajo estas condiciones el uso de aguas residuales tratadas constituye un riesgo para la salud de los agricultores y los consumidores de los productos agrícolas. Por lo tanto, la alternativa de reúso parcial de las aguas residuales tratadas debe ser descartada.

Reducción de las concentraciones a través de un mayor nivel de tratamiento de los parámetros críticos

La evaluación realizada indicó que el vertimiento con un caudal máximo de 150 L/s en el año 2024 no debería superar una concentración máxima de fosfatos de 18 mg/l, lo que corresponde a una eficiencia de tratamiento del 47 %.

Para lograr esta eficiencia, el sistema de tratamiento de aguas residuales debería ser modificado. La lagunas de estabilización por lo general logran concentraciones de fósforo total en el efluente entre 4 - 25 mg/l⁵⁵; sin embargo, no es posible determinar a priori la eficiencia de remoción. Por lo tanto, se debería

⁵³ Guías OMS para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises, Volúmenes 1-4, 3ra edición, 2006

⁵⁴ Ley N° 30045, Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento y su reglamento (D.S. 015-2013-VIVIENDA).

⁵⁵ ANESAPA (2010), Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia. www.proapac.org/publicaciones

prever la dosificación de sales de hierro o de aluminio a las aguas residuales antes de la laguna anaeróbica. Estos sales reaccionan con el fósforo y forman complejos de baja solubilidad que se sedimentarán. Mediante esta tecnología de tratamiento terciario se puede lograr concentraciones de fósforo en el efluente de hasta 3 mg/l. Además, la dosificación de sales de hierro mejora la sedimentabilidad del material en suspensión, mejorando la eficiencia de la laguna. La dosificación podrá optimizarse en función de las concentraciones de fosfatos en el efluente, determinados a base del monitoreo regular, siendo también posible que la PTAR logre la concentración máxima admisible de los fosfatos, sin la dosificación continua de estos compuestos.

Las modificaciones del sistema de tratamiento inicialmente propuesto, corresponde a un incremento del costo de operación. Sin embargo, es la única alternativa viable, que permitirá cumplir con los ECA-Agua de fosfatos en el largo plazo.

1.32.5 Evaluación del cumplimiento del ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla

La evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas en un cuerpo de agua lentic, debe comprobar que el diseño del emisor subacuático proporciona una dilución inicial mínima $-S_a-$ que es mayor que la dilución requerida $-S_{max}-$:

$$S_a \geq S_{max}$$

Si esta inecuación expresa un resultado verdadero, las concentraciones de los contaminantes contenidos en las aguas residuales tratadas en el límite de la zona de mezcla serán inferiores a los ECA-Agua.

1.32.5.1 Evaluación de la dilución requerida

La dilución requerida para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla (S_{max}) se calcula con:

$$S_{max} = \text{MAX}(S_i, S_{(i+1)}, S_{(i+2)}, S_{(i+n)})$$

y

$$S_i = \frac{(C_{vert,i} - C_{ECA,i})}{(C_{ECA,i} - C_{RH,i})}$$

donde,

- $S_i, S_{(i+n)}...$ es la dilución necesaria para respetar los ECA del parámetro i o $i+n$ respectivamente.
- $i, i+n ...$ son los parámetros comprendidos en los ECA-agua y relevantes para el tipo de efluente, indicados en el capítulo VI.3.2.1.
- $C_{vert,i} ...$ es la concentración del parámetro i en el efluente, indicado en capítulo VI.3.2.2.
- $C_{ECA,i} ...$ es el ECA-Agua del parámetro i según la categoría que corresponda.
- $C_{RH,i} ...$ es la concentración del parámetro i en el cuerpo de agua natural, indicado en capítulo VI.3.3.5.
- $S_{max} ...$ es la dilución requerida para respetar los ECA-Agua en el cuerpo de agua en el límite de la zona de mezcla, definida como el valor máximo de los factores de dilución calculados para los diferentes parámetros relevantes para el tipo de efluente.

En la siguiente tabla se calcula de dilución requerida para cada uno de los parámetros característicos del vertimiento.

Tabla N°32: Dilución requerida para el cumplimiento del ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla

Parámetro	Unidad	Concentración máxima en el efluente	ECA Agua Cat. 4	Concentración máxima en el cuerpo natural	S_i
DBO ₅	mg/L	100	5	0	19
SST	mg/L	150	25	0	5
C.term	NMP/ 100 ml	10000	1000	0	9
P-PO ₄	mg/L	18	0,40	0,053	50
N _{total}	mg/L	59,8	1,6	0	36
N-NH ₃	mg/L	0,93	0,02	0	45
Arsénico	mg/L	0,04	0,01	0,0079	13
Bario	mg/L	0,5	0,7	0,0	0
Cadmio	mg/L	0,000	0,004	0,000	0
Cobre	mg/L	0,08	0,02	0,00	4
Mercurio	mg/L	0,0000	0,0001	0,0000	9
Níquel	mg/L	0,010	0,025	0,000	0
Plomo	mg/L	0,020	0,001	0,0004	35
Zinc	mg/L	0,34	0,03	0,00	11
S_{max}					50

De la tabla anterior se puede concluir, que el parámetro más crítico en términos de dilución requerida son los fosfatos (1:50), seguido por amoníaco (1:45), nitrógeno total (1:36) y plomo (1:35).

1.32.5.2 La evaluación de la dilución inicial mínima – S_a

La dilución inicial mínima – S_a – proporcionada por la profundidad y longitud del difusor subacuático fue evaluada mediante el uso del modelo de simulación numérico XXX, auspiciado por el Centro de Modelamiento para la Evaluación de la Exposición (Center for Exposure Assessment Modeling – CEAM) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).

La evaluación es realizada considerando las condiciones más críticas, lo que permitirá diseñar un dispositivo de descarga que garantiza el cumplimiento de los ECA-Agua en todo momento:

- Gradiente máximo de la temperatura del cuerpo receptor, indicado en el numeral VI.3.3.3.
- Corriente horizontal mínima (1,20 cm/s) con dirección de flujo del sur al norte (ángulo horizontal de 90°).
- Caudal máximo de vertimiento de 150 L/s.
- Densidad del agua residual igual a la densidad del agua natural.

En un primer paso se evaluó la factibilidad de un emisor subacuático con un orificio único, considerando su menor costo en comparación con un difusor de orificios múltiples. Con la finalidad de lograr la dilución requerida (S_{max}), se ha realizado un gran número de corridas del modelo variando iterativamente la longitud del emisor y la orientación del orificio de descarga; sin embargo, no era posible diseñar un emisor que permita lograr la dilución requerida.

Por consiguiente, se evaluó un emisor con un difusor de orificios múltiples. Para determinar el diseño del difusor se ha realizado diferentes corridas del modelo, variando iterativamente las variables de diseño del difusor subacuático (ángulo vertical de descarga, longitud del emisor y difusor).

El modelo numérico demostró que un emisor subacuático con las siguientes características brinda una dilución inicial de 56, que es mayor que la dilución requerida de 50 para el cumplimiento del ECA-Agua.

- Diámetro interno del emisor: 375 mm (permite mantener una velocidad de flujo entre 1 y 2 m/s).
- Profundidad media de descarga: 3,7 m (determinada en base al mapa batimétrico)
- Diámetro del orificio singular: 7,5 cm (seleccionado para evitar su obstrucción y facilitar su limpieza)

- Número de orificios: 22 (calculada de la condición que el área total de los orificios sea aprox. 90% del área de la tubería para evitar que algunos orificios no descarguen a su capacidad máxima: con un área de la tubería de 1104,5 cm² el área total de los orificios no debería superar 994,0 cm². Considerando el diámetro del orificio singular de 7,5 cm el número total de orificios se calcula en 22.)
- Distancia entre los orificios: 1,5 m (calculada iterativamente: inicialmente se seleccionó una distancia grande igual a la profundidad de descarga, que posteriormente fue reducida hasta obtener la dilución requerida.)
- Longitud del difusor: 32 m (calculada del número de orificios (n) y la distancia entre ellos (b): $L = (n-1)*b$)
- Longitud del emisor: 132 m (100 m de tubería más 32 m de difusor)
- La altura de descarga sobre el fondo se seleccionó con 0,4 m, dado que no existen riesgos que los orificios sean cubiertos con sedimentos, tal como puede ocurrir en el mar o en proximidad de la desembocadura de ríos.
- Angulo vertical de descarga: 5° (determinado de forma iterativo hasta obtener la máxima dilución inicial)
- La orientación del eje central de los orificios, es decir el ángulo de orientación horizontal, fue seleccionada igual que la dirección predominante de las corrientes de norte a sur (ángulo de orientación horizontal de 270°).
- Asimismo, para lograr una dilución inicial máxima reduciendo la extensión de la zona de mezcla a un mínimo, el eje del difusor será colocado en perpendicular a la dirección de corriente predominante, que es paralela a la línea de orilla.



1.32.6 Determinación de la extensión máxima de la zona de mezcla

La extensión máxima de la zona de mezcla fue calculada mediante el modelo de simulación de la zona de mezcla aplicando el diseño del emisor subacuático indicado en el capítulo antecedente y las corrientes horizontales en el cuerpo natural máximas en las diferentes direcciones.

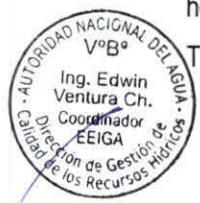


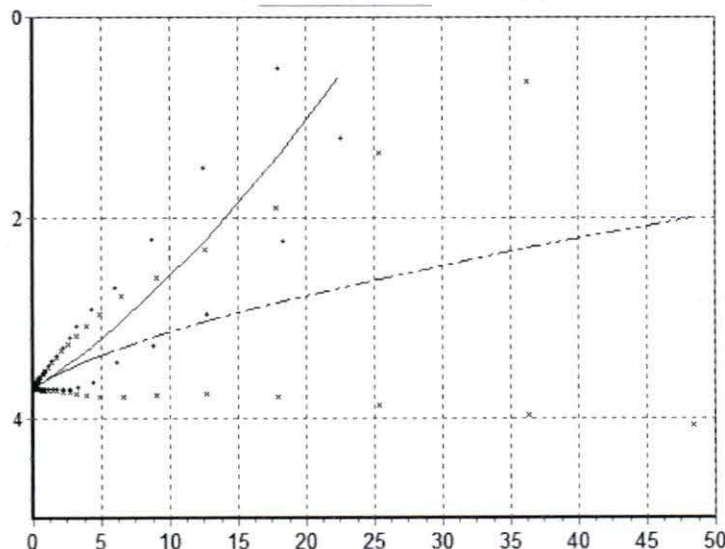
Tabla N°33: Corrientes horizontales máximas

Velocidad de flujo (cm/s)	Dirección de la corriente
3,8	N-S
1,4	S-N

En los siguientes gráficos se representa los resultados de la simulación en las condiciones de corriente máxima.

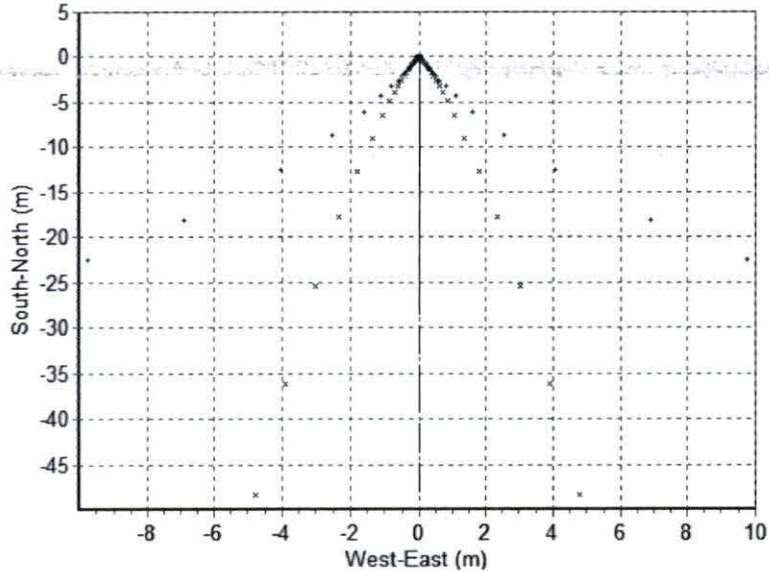


Gráfico N°40: Eje central y límites de la pluma de aguas residuales (profundidad vs. distancia en m) con corriente en dirección N-S (línea azul) y S-N (línea roja).



La simulación en las condiciones de corriente máxima demuestra que las aguas residuales descargadas en un ángulo horizontal se mezclan con el agua natural formando una pluma que cubre casi todo el perfil vertical del cuerpo de agua. En una distancia de 20 y 50 metros respectivamente la pluma toca la superficie del cuerpo de agua, punto que corresponde a la extensión máxima de la zona de mezcla.

Gráfico N°41: Vista plana de la pluma de aguas residuales



La vista plana demuestra que la pluma se expande lateralmente mientras el agua residual se mueve en dirección sur. En la distancia de la extensión máxima de la zona de mezcla la pluma alcanza un ancho de 10 metros aproximadamente. En condiciones de corriente del sur al norte la expansión de la pluma es más fuerte, llegando a un ancho de 20 m. Por lo tanto, la zona de mezcla se extiende por una superficie de 52 metros (32 m de difusor + 20 m ancho de la pluma) de largo y 50 metros de ancho al sur del emisor.

Hasta una distancia de 50 m desde el límite de la zona no existen usos del agua, como tomas de agua para uso poblacional o agrícola, áreas de actividades recreativas de contacto primario o áreas de acuicultura. Asimismo, la zona de mezcla no se acercará más que 50 metros a la orilla, lo que garantiza evitar el contacto de las personas y animales terrestres con las aguas de la zona de mezcla. Por lo tanto, no existe un impedimento para establecer la zona de mezcla.



I.32.7 Propuesta del programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua

En lo siguiente se propone el programa de control de los impactos del vertimiento en el cuerpo natural de agua, el cual comprende la determinación de las cargas contaminantes en las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial.

Tabla N°34: Programa de control del efluente

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL ²	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
				ZONA	NORTE	ESTE
V-1	Salida de la PTAR antes de la descarga	Caudal, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Aceites y grasas (MEH), Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos, Nitrógeno Total, Amoniaco, Metales ¹	Trimestral	XX	XXXXXXX	XXXXXX

Tabla N°35: Programa de control de la calidad del cuerpo natural de agua

CÓDIGO	CUERPO NATURAL DE AGUA		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	PROFUNDIDAD	PARÁMETROS DE CONTROL	FRECUENCIA DE CONTROL ³	COORDENADAS - UTM (WGS84)		
	NOMBRE	CAT. ECA					ZONA	NORTE	ESTE
LAGO-1a	Laguna XXXXX	4	50 m a sur del difusor subacuático	Superficie	pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Aceites y Grasas ¹ , Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos, Nitrógeno Total, Amoniaco, Metales ²	Trimestral	XX	XXXXX	XXXX
LAGO-2a	Laguna XXXXX	4	10 m a este del difusor subacuático	Superficie	pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Aceites y Grasas ¹ , Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos, Nitrógeno Total, Amoniaco, Metales ²	Trimestral	XX	XXXXX	XXXX
LAGO-3a	Laguna XXXXX	4	10 m a oeste del difusor subacuático	Superficie	pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Aceites y Grasas ¹ , Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos, Nitrógeno Total, Amoniaco, Metales ²	Trimestral	XX	XXXXX	XXXX
LAGO-4a	Laguna XXXXX	4	10 m a norte del difusor subacuático	Superficie	pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Aceites y Grasas ¹ , Coliformes Termotolerantes (44,5°C), DBO ₅ , Sólidos Suspendidos Totales, Fosfatos, Nitrógeno Total, Amoniaco, Metales ²	Trimestral	XX	XXXXX	XXXX

(1) Control visual de la ausencia de película visible solamente, sin análisis de laboratorio.

(2) Los metales considerados en la categoría ECA-Agua 4-Lagunas y Lagos determinados con ICP son: Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc.

(3) La frecuencia de control ha sido establecida en función del volumen anual de aguas residuales vertidas: $V_{\text{anual}} = \text{Caudal promedio en el año 2024} \times 365 \text{ días} = 150 \text{ L/s} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ días} / 1000 \text{ L} = 4,73 \text{ M m}^3$. Valor que está en el rango 3-9 M m³ y resulta en una frecuencia trimestral, lo que está conforme con la frecuencia mínima establecida en la R.M. N°273-2013-VIVIENDA, "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales".

La toma de muestra del efluente y en el cuerpo receptor será realizada en las mismas fechas, y será realizada en conformidad con R.M. N°273-2013-VIVIENDA, "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales" y R.J. N°010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", respectivamente.

1.32.8 Conclusiones

- La evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en el cuerpo receptor ha evidenciado un riesgo de incumplimiento de los ECA-Agua de fosfatos en el largo plazo.
 - Consecuentemente, se ha evaluado dos alternativas que permiten eliminar el riesgo de impactos no aceptables: la reducción del caudal de vertimiento mediante reúso parcial de las aguas residuales tratadas y la reducción de las concentraciones a través de un mayor nivel de tratamiento del parámetro crítico. Dado que un reúso de las aguas residuales bajo las condiciones ambientales y socio-económicas de la zona no es viable, se tiene que optar por la alternativa de un mayor nivel de tratamiento.
 - Por lo tanto, se deberá reducir la concentración del parámetro crítico a través de la mejora del sistema de tratamiento. La evaluación realizada indicó que el vertimiento con un caudal máximo de 150 L/s no debería superar una concentración máxima de fosfatos de 18 mg/l, correspondiente a una eficiencia de tratamiento requerida del 47%. En el sistema de tratamiento de aguas residuales se incluirá la remoción de fosfatos a través de la dosificación de sales de hierro o de aluminio a las aguas residuales antes de la laguna anaeróbica. Estas sales reaccionan con el fósforo y forman complejos de baja solubilidad que se sedimentan. Mediante esta tecnología se puede lograr concentraciones de fósforo en el efluente de hasta 3 mg/l. La dosificación de sales de hierro o de aluminio será optimizada en función de las concentraciones de fosfatos en el efluente, determinados a base del monitoreo regular, siendo también posible que la PTAR logre las concentraciones admisibles, sin la dosificación continua de estos compuestos.
 - La descarga será realizada a través de un emisor subacuático de una longitud de 132 metros con un difusor de 22 orificios y una longitud de 32 metros. Los orificios descargan en un ángulo de 5° sobre el plano horizontal y están orientados hacia el sur. Este emisor brinda una dilución inicial mínima de 54 lo que permite cumplir con los ECA-Agua en el límite de la zona de mezcla.
- La zona de mezcla tiene una extensión máxima de 50 m al sur del emisor y 52 m en dirección este-oeste, no se acerca más que 50 metros a la orilla o a otros usos del agua, por lo que no existe un impedimento para establecer la zona de mezcla.
- El programa de control propuesto comprende la determinación de las cargas contaminantes de los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas, así como de la calidad del agua superficial en cuatro puntos de control establecidos a 50 m al sur del difusor, 10 m a norte, este y oeste. Las muestras serán tomadas en la superficie solamente, ya que el modelo comprobó que la pluma de aguas residuales alcanza la superficie antes del límite de la zona de mezcla. El control del efluente y en el cuerpo receptor será realizado con una frecuencia trimestral.

