

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Evaluación del Impacto Ambiental del efluente
submarino del proyecto PROVISUR empleando el
modelo CORMIX**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil que presenta el
Bachiller:**

JOSE ALONSO VARGAS TORRES

**NOMBRE DEL ASESOR:
RAMZY KAHHAT ABEDRABBO**

Lima, septiembre 2018



A mis padres, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de este proyecto de investigación. Gracias por el cariño y el apoyo constante. Alas y buen viento.

Agradezco a mis padres, Jose Vargas y Miriam Torres, por todo el apoyo y soporte que he recibido durante la elaboración de este proyecto. Por siempre apoyarme y guiarme hacia adelante.

A mi asesor Ramzy Kahhat por ayudarme a empezar este trabajo y por guiarme a la investigación de los campos de la hidrología y el medio ambiente, donde ahora me envuelvo profesionalmente.

A MixZon, los desarrolladores del programa CORMIX, por otorgarme la licencia de CORMIX 9.0 para poder utilizar el programa en el proyecto de investigación.

A mis amigos que siempre me dijeron que saque adelante mi proyecto y que me apoyaron con la edición de este documento.

A todas las demás personas que formaron parte de este proyecto de investigación y que con su apoyo se obtuvieron los resultados esperados.

RESUMEN

En el Perú, se tiene una buena riqueza hídrica pues se cuentan con 54 cuencas hidrográficas por las que se podrían obtener 2'046,827 metros cúbicos al año. Sin embargo, este recurso hídrico está localizado en lugares con menor densidad poblacional y no alcanza suficientemente a los lugares de mayor densidad poblacional que usualmente se ubican en la costa. Una alternativa de solución para la escasez de agua potable son las plantas desalinizadoras. Por esta razón, en el sur de Lima, se está construyendo una planta desalinizadora y una planta de tratamiento de agua residual para beneficiar directamente a los usuarios en los distritos del sur. Este proyecto, llamado PROVISUR, está siendo cuestionado por una presumible contaminación a las playas en Santa María.

Por lo antes expuesto, la presente tesis tiene como objetivo estudiar el funcionamiento de una planta desalinizadora de Osmosis Inversa y de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para entender el proyecto de PROVISUR. Así como también, analizar todos los impactos ambientales que son producidos por este proyecto en el mar peruano y proponer soluciones y alternativas en específico al vertimiento del efluente de ambas plantas. Finalmente, modelar la emisión mediante el programa CORMIX y determinar los impactos ambientales reales de las plantas del proyecto ubicado en el balneario de Santa María, Lima.

Después de estudiar el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto PROVISUR y de realizar el modelamiento numérico empleando el CORMIX, se tiene como conclusión, que este proyecto tendría que ser revisado por las autoridades correspondientes debido a que presenta algunas deficiencias en el Marco Legal y presenta imperfecciones en el modelamiento para la dispersión del contaminante. Los valores obtenidos después de la modelación numérica son aproximados al estudio realizado por la empresa PROVISUR en cuanto a los parámetros ambientales. Sin embargo, estos contaminantes no están siendo analizados apropiadamente para una dilución en un campo cercano a la emisión.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN LITERARIA.....	5
2.1. GENERALIDADES	5
2.2. CALIDAD DEL AGUA.....	5
2.3. PROCESO DE DESALINIZACIÓN.....	7
2.3.1. Proceso de Osmosis Inversa (OI).....	8
2.3.2. Proceso de Electrodiálisis (ED).....	9
2.3.3. Proceso de Destilación (MSF).....	9
2.3.4. Proceso por Congelación (CO)	9
2.4. PROCESO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)	10
2.4.1. Etapas de tratamiento	11
2.5. IMPACTO AMBIENTAL.....	15
2.5.1. Vertido del efluente de la Planta Desalinizadora de OI	15
2.5.2. Vertido del efluente de la PTAR.....	20
2.6. TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES DE PLANTAS DESALINIZADORAS.....	22
2.7. MARCO LEGAL.....	25
2.7.1. Marco Legal y Normativa en Perú.....	25
2.7.2. Estándares de calidad de agua.....	27
2.7.3. Límites Máximos Permisibles (LMP)	30
2.8. MODELAMIENTO NUMÉRICO	32
2.8.1. Generalidades	32
2.8.2. El modelo CORMIX	34
2.8.3. El modelo VISJET	34
2.8.4. El modelo VISUAL PLUMES	35
2.8.5. Diferencias entre CORMIX y VISUAL PLUMES.....	36
CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO PROVISUR.....	38
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	39
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE SALMUERA DE LA IDAM.....	41

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR	41
3.4. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE COMBINADO	43
3.5. MODELAMIENTO NUMÉRICO DESARROLLADO POR ECSA INGENIEROS	44
CAPÍTULO 4. MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO CORMIX	45
4.2. REGULACIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA	45
4.3. SELECCIÓN DE MODELO DE MEZCLA	47
4.4. MODELO DE ZONA DE MEZCLA.....	49
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	53
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	59



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es preciosa, ya que no podemos vivir sin ella. Resulta irremplazable, dado que no tiene sucedáneos. Y es un recurso delicado, pues la actividad humana tiene un profundo impacto en la cantidad y calidad del agua dulce disponible” (Kofi Annan, 2003).

Ciertamente el agua es un recurso necesario en la vida del hombre, sin embargo, es un recurso escaso existiendo una tendencia a la disminución global de las fuentes de agua.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (Magrama), señala que en el 2015 existía en el mundo 97.5% de agua salada y 2.5% de agua dulce. Del agua dulce el 69.7% está congelada en los glaciares y por lo tanto no está disponible para su consumo, por otro lado este porcentaje de agua congelada dado el calentamiento global, se va reduciendo dramáticamente y se va mezclando con el agua de mar por lo que el porcentaje de agua dulce, dentro de los próximos años, se reduciría dramáticamente (M. T. Cortés, 1998).

Ante esta problemática, la desalinización ha surgido como una alternativa importante frente a la escasez del agua dulce para las poblaciones incrementándose a medida que transcurren los años. Si seguimos las informaciones señaladas en el *IDA Desalination Year Book 2017-2018*, tan solo en el 2015 al 2017 la producción diaria de las plantas desalinizadoras de agua de mar está entre 1.5 millones de m³/día para el periodo del 2015 y 2017, habiendo alcanzado 2.5 millones de m³/día tan solo en el año 2016. (ver Figura 1-1).

La tecnología utilizada para la desalinización del agua de mar tiene mayor preferencia por el empleo del proceso de Osmosis inversa en comparación con las que utilizan en el proceso energía térmica. (ver figura 1-2).



Figura 1-1. Captación de agua en plantas desalinizadoras (IDA, 2018)

En el 2017 las plantas de Osmosis Inversa produjeron 2.2 millones m³/día de agua desalinizada comparada con 0.1 millones m³/día en las plantas térmicas (IDA, 2018).

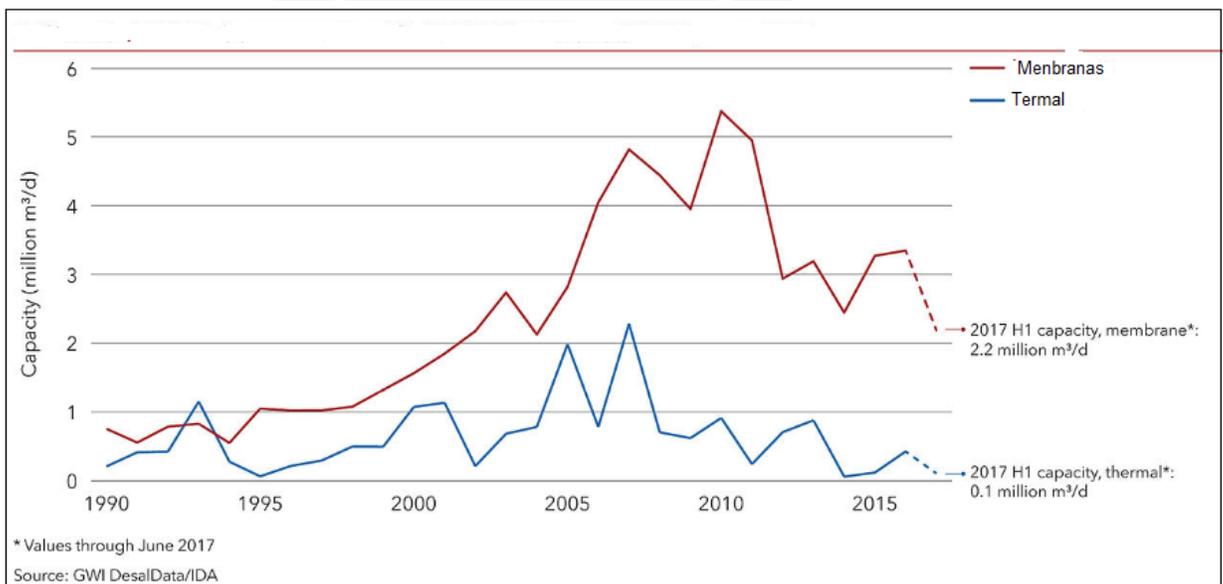


Figura1-2. Contratación anual de plantas por tecnología (IDA, 2018)

El presente trabajo desarrollado en esta tesis se enfoca en la planta desalinizadora que abastecerá a los distritos de Punta Hermosa, San Bartolo y Santa María del Mar; planeada para funcionar en el 2016; dicha Planta desalinizadora es parte de la cartera de estos proyectos de Gobierno, aunque tiene un retraso de 6 años desde que se inició en el 2014, funcionaría en el 2019 con un costo de S/ 309'000,000.00 según informa el Ministerio de Vivienda y Construcción.

Este proyecto es para Provisión de Servicios de Saneamiento para los balnearios del Sur (PROVISUR) y permitirá solucionar la escasez del agua potable con la construcción de una planta desalinizadora por Osmosis Inversa y mejorará la calidad del tratamiento de las aguas servidas; el que actualmente es muy básico. Con la mejora de las PTAR existentes y la construcción de una nueva PTAR. Cien mil familias deben ser favorecidas en los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, Santa María del Mar y San Bartolo.

Los objetivos que se buscan en la presente tesis son por un lado evaluar el Impacto Ambiental como consecuencia del vertido del efluente combinado (proveniente de la mezcla de la salmuera y el agua tratada de las PTARS) en el mar. Es requerido para ello el modelamiento hidrodinámico en la zona de mezcla del efluente combinado del proyecto PROVISUR con el mar empleando el CORMIX, establecer los límites permisibles según la normativa peruana y finalmente comparar los resultados obtenidos en el estudio con el modelamiento empleado por ICSA para PROVISUR que utilizó como software el VISUAL PLUMES y VISJET (MEDVSA, 2012).

El modelo CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*) es un modelo numérico para el análisis, predicción y diseño de vertidos líquidos, contaminantes o no contaminantes, en medios acuosos. El modelo reproduce la forma de la pluma de vertido en la proximidad del efluente que es el campo cercano. También puede simular el vertido a largas distancias que es el campo lejano (MEDVSA, 2012).

El Marco Legal en el Perú está señalada por la ley de Recursos Hídricos que determina los Estándares de Calidad del Agua (ECA) y los parámetros de Límites Máximos Permisibles (LMP) señalados en la RS 031-MINAM para efluentes de plantas desalinizadoras.

En el capítulo 2 se hace una revisión literaria; del aprovechamiento del agua como alternativa a la escasez de este importante recurso para la vida; los procesos industriales empleados como son; las plantas desalinizadoras que permiten desalinizar el agua de mar para obtener agua dulce, este proceso genera una agua de rechazo o efluente llamado salmuera; el empleo de las plantas de agua residual (PTARS) que genera un efluente derivado del proceso el que dependiendo de los niveles de tratamiento bien puede ser aprovechado para riego de áreas verdes o cierto tipo de cultivos.

En el capítulo 3 se abarcará el caso de estudio; el Proyecto PROVISUR que construirá una planta desalinizadora de Osmosis Inversa y una PTAR descargando los efluentes por emisario submarino al mar en el balneario de Santa María en la ciudad Lima para administración de SEDAPAL.

En el capítulo 4 se desarrollará el modelamiento hidrodinámico con auxilio del CORMIX para la zona de mezcla del efluente combinado con el mar en el punto de vertido y dispersión del emisario submarino. Se definirán los indicadores ambientales de acuerdo a los ECA y LMP a fin de revisarlos a raíz de los resultados.

En el capítulo 5 se señalarán los resultados obtenidos del modelamiento numérico y como se llevó a cabo este modelamiento. Asimismo, se definirán los parámetros que fueron evaluados.

En el capítulo 6 se señalarán las conclusiones según los resultados cuantitativos empleando el modelamiento hidrodinámico, las comparaciones con el modelamiento empleado por PROVISUR, y la revisión del Marco Legal.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN LITERARIA

2.1. GENERALIDADES

En este capítulo, se recopilan diversas publicaciones técnicas y científicas que estarán relacionadas a los objetivos que se ha planteado desarrollar en el presente trabajo de investigación. Se abordará la definición del agua como recurso hídrico y su aprovechamiento para el beneficio humano empleando el proceso de desalinización de agua de mar. También se revisa el tratamiento de aguas residuales (PTAR). Se estudiarán estos procesos de plantas industriales debido a que el proyecto PROVISUR contempla la construcción de planta desalinizadora y planta de tratamiento de aguas residuales. Además, se analizarán los impactos ambientales producidos por el efluente de la planta desalinizadora y el efluente de la PTAR como efluente combinado que se verterá y dispersará en el mar frente a la bahía de Santa María.

Se hará mención a los modelos numéricos que existen en el mercado que sirven para la evaluación hidrodinámica de la descarga del efluente (pluma) y de cuales podrían resultar más convenientes para la predicción del Impacto Ambiental en el caso de estudio. Finalmente, se hará una revisión de los resultados en relación al Marco Legal en el Perú para el proyecto de PROVISUR.

2.2. CALIDAD DEL AGUA

El agua es el recurso que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la tierra en estado sólido, líquido, y gaseoso. Existen varios tipos de clasificaciones de aguas según su concentración de salinidad desde agua dulce, salobre a salada.

La composición del agua del mar varía según sea su origen o según las características marinas, presentándose con una mayor concentración de sales en lugares cálidos y con poca renovación como ocurre en el Mediterráneo. Esta es menor en lugares casi cerrados que tienen abundantes aportes continentales tal como en el Mar Báltico

(Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. & Universidad Autónoma de Baja California. Unidad de Ciencias Marinas., 1994).

El mar tiene constituyentes químicos cuya concentración media puede verse en la tabla 2.2-1, se aprecia que tiene una gran cantidad de sales inorgánicas disueltas, pero es muy pobre en nutrientes (nitrógeno, fósforo y carbono). El agua de mar sirve de hábitat a infinidad de seres vivos, el volumen más importante de biomasa lo compone el plancton, constituido fundamentalmente por algas (fitoplancton) y animales microscópicos (Knauth, 2005).

TABLA 2.2-1. Concentración promedio de los principales elementos de agua de mar (Knauth, 2005).

Elementos	Concentración
Cloro	19.0%
Sodio	11.0%
Magnesio	1.3%
Azufre	1.0%
Calcio	0.5%
Potasio	0.4%

Por otro lado, el agua salobre es aquella agua que es más salina que el agua dulce, pero que no es tan salina como el agua del mar. Esta, se origina del proceso de mezclar agua dulce con agua de mar o puede ocurrir también en acuíferos fósiles salobres. En la Tabla 2.2-2 se muestran la salinidad de cada tipo agua.

TABLA 2.2-2. Clasificación de la calidad de agua de acuerdo a su total de concentración salina (Hillel, 2000).

Designación	Total de sales disueltas (ppm)	EC (dS/m)	Categoría
Agua dulce	<500	< 0.6	Bebible e irrigacion
Levemente salobre	500-1,000	0.6 - 1.5	Irrigación
Salobre	1,000 -2,000	1.5 - 3.0	Irrigación con precaución
Moderadamente salina	2,000-5,000	3.0 - 6.0	Drenaje primario
Salina	5,000 -10,000	6.0 - 15.0	Drenaje secundario y agua salina subterránea
Fuertemente salina	10,000 - 35,000	15.0 - 45.0	Agua subterránea muy salina
Salmuera	>35,000	> 45.0	Agua de mar

2.3. PROCESO DE DESALINIZACIÓN

La desalinización es un proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar o del agua salobre. Las plantas desalinizadoras son instalaciones industriales para la separación de la sal proveniente del agua de mar o de lagos salados y así obtener agua potable (Hillel, 2000).

Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable desde 1965, con la primera planta construida en Lanzarote, España, pero el proceso era muy costoso y hasta hace unos 20 años sólo se han utilizado en condiciones extremas. Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalinizada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas (CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS, 2013).

En el mundo los países que cuentan con mayor cantidad de plantas instaladas son los Estados Unidos con 2, 174 plantas, de las cuales el 72% corresponde a OI; Arabia Saudita con un total de 2 086 plantas, de las cuales un 65% corresponde a MSF; Japón con un total de 1 457 plantas, de las cuales un 90% corresponde a OI. España se ubica en el cuarto lugar con 760 plantas, de las cuales el 90% corresponde a OI. Los países que tienen entre 100 y 300 plantas son Libia, India, China, Australia, Argelia, el Reino de Bahrén y la Sultanía de Omán (IDA, 2007).

Existen diversos procesos de desalinización y se diferencian por costos, impacto ambiental, calidad del producto y energía consumida. Desde la creación de la primera planta desalinizadora en 1965, se empezaron a realizar comparaciones entre los procesos químicos y físicos para buscar la mejor alternativa y poder reducir la cantidad de energía que demandan estas tecnologías. Como resultado, se encontraron diferentes tecnologías para desalar agua de mar (Dévora Isiordia, Germán E.; González Enríquez, Rodrigo; Ponce Fernández, 2012).

Una de estas novedades fue la obtención de agua potable por medio de membranas. Este es un proceso físico que separa el agua salina en dos vertientes, una corriente de agua potable con baja concentración de sales disueltas y, una corriente de salmuera concentrada. Los sistemas más utilizados son los de Osmosis Inversa (OI) y Electrodiálisis. Algunos de los procesos actualmente viables a escala industrial son los siguientes:

2.3.1. Proceso de Osmosis Inversa (OI)

Es un proceso de filtración, emplea energía mecánica. El método es de osmosis inversa. La OI es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes. En los procesos osmóticos normales las soluciones menos concentradas tienen alta energía potencial y se desplazan por diferencia de energía potencial hacia las soluciones con más concentración y de baja energía potencial a través de una membrana semipermeable sin necesidad de aplicar ninguna fuerza externa (Arreguín Cortés, Martín Domínguez, Arreguin, & Martín-Domínguez, 2000).

El proceso de OI consiste en la aplicación de alta presión sobre una solución concentrada para forzar el paso de la misma a través de unas membranas semipermeables (Sotto Díaz, 2009). El sistema toma su nombre por realizarse el paso de las soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales. Por lo tanto, cuanto mayor sea la salinidad del agua, mayor será la presión osmótica a superar. (Dévora, Enríquez, & Fernández, 2005).

2.3.2. Proceso de Electrodiálisis (ED)

Es un proceso de filtración selectiva, utiliza la energía eléctrica. El método es de electrodiálisis. La tecnología de electrodiálisis, es un proceso de separación electroquímico, donde los iones son transferidos a través de membranas de intercambio iónico por medio de un campo de corriente continua (Mier, Ibáñez, Ortiz Uribe, & Rivero Martínez, 2004) . Las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas y de esta forma se eliminan a las partículas cargadas eléctricamente, no produce una eliminación total de sales, sino que en la práctica la reducción de salinidad es del orden del 40%.

2.3.3. Proceso de Destilación (MSF)

Es un proceso de evaporación utilizando energía térmica. El método es denominado Destilación súbita flash.

La desalación obtenida por destilación consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300° C), el vapor se condensa posteriormente en el interior o exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas o eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables (Chacón, Martín-Rosales, & Manuel, 2008).

2.3.4. Proceso por Congelación (CO)

Es un proceso de cristalización empleando energía térmica. El método es por congelación. Enfriando el agua salada para formar cristales de hielo bajo condiciones controladas se puede llegar a desalinizar agua. Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para luego fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío (Lu & Xu, 2013).

En la Tabla 2.3-1 se resumen los procesos de desalinización en la industria.

TABLA 2.3-1. Clasificación de los procesos de desalinización (Lu & Xu, 2013).

Clase de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Separación agua de sales	Vapor	Evaporación	Destilación solar
			Destilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
			Destilación multiefecto de tubos horizontales
			Destilación multiefecto de tubos verticales
			Compresión mecánica de vapor
			Termo compresión de vapor
Separación de sales de agua	Frío	Cristalización	Formación de hidratos
			Congelación
Separación de sales de agua	Presión	Membrana	Ósmosis inversa
	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Electrodialisis
	Atracción química	Resina	Intercambio iónico

2.4. PROCESO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)

A partir de los años 60, empezó a crearse una conciencia ambiental en todo el mundo. Temas como contaminación en el agua, aire, protección del medio ambiente empezaron a ser más usados y los Gobiernos empezaron a crear políticas ambientales. En los siguientes años, surgieron movimientos culturales que empezaron a exigir a los estados tener mayor consideración con el vertido de las aguas residuales al medio ambiente. Por estas exigencias; surgen las plantas de tratamiento de aguas residuales (Ramalho, Jiménez Beltrán, & Lora, 1996).

Las aguas residuales o agua cruda son las provenientes de la actividad humana en la ciudad. Estas pueden ser clasificadas como aguas residuales municipales, que son los residuos líquidos con excretas transportados por el alcantarillado de una ciudad o población, o aguas residuales industriales, que provienen de las descargas de las industrias (ECOWATER, 2010).

Las aguas residuales que son los desagües del alcantarillado de la ciudad son conducidas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) donde se realiza una extracción parcial de los contaminantes, a través de medios físicos, biológicos y

químicos. El efluente de la PTAR es conocido como agua residual tratada. Así como hay impactos en el medio ambiente, también se producen en la salud los cuales se pueden minimizar cuando se implementan buenas prácticas de manejo (OMS, 2013).

2.4.1. Etapas de tratamiento

Se obtiene una mayor reducción de contaminantes en el proceso de las PTAR a medida que se realizan más etapas de tratamiento. Se tienen tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento terciario sería el escenario ideal para la PTAR sin embargo variables como el costo, tecnología y capacidad hacen necesario su evaluación antes de elegir el tipo de tratamiento a seguir.

En la Figura 2.4.1-1 siguiente se contempla un esquema para visualizar la secuencia de los tratamientos.

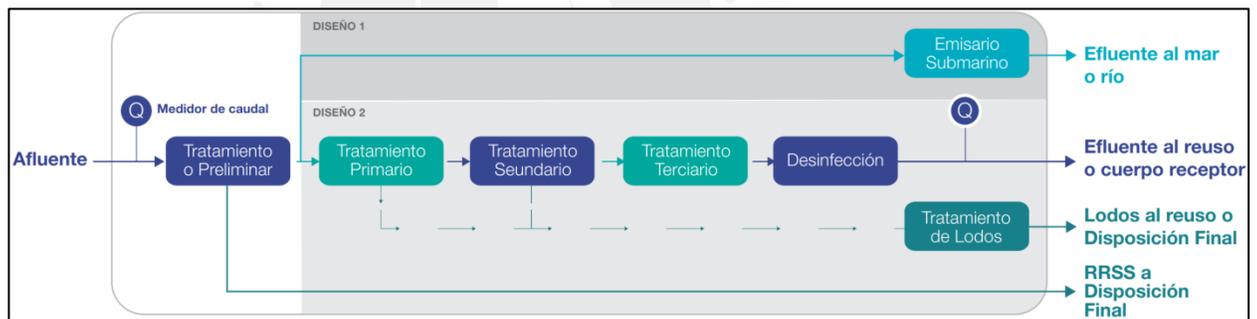


Figura 2.4.1-1. Esquema de una PTAR de aguas residuales domésticas(Vergara, Jugo, Miyashiro, Barrera Guzmán, & Palacio, 2015)

a) Tratamiento primario

El tratamiento primario de las aguas residuales es un proceso mecánico que utiliza cribas para separar los desechos de mayor tamaño como palos, piedras y trapos. Las aguas del alcantarillado llegan a la cámara de dispersión en donde

se encuentran las cribas, este proceso se llama cribado o desbrozo. Luego pasa al proceso de sedimentación y flotación. Las aguas se llevan a un tanque de sedimentación, en donde los sedimentos son conducidos a un tanque digestor y luego al lecho de secado, para luego ser utilizados como fertilizantes, arrojados a un vertedero controlado o a algún cuerpo de agua. También se añade al proceso de sedimentación una separación de aceites. Del tanque de sedimentación el agua es conducida a un tanque de desinfección con cloro (para matarle las bacterias) y una vez que cumpla con los límites de depuración sea arrojada a un lago, un río o al mar. En la etapa final se cumple el proceso de homogeneización y neutralización (Ramalho et al., 1996).

Muchas PTAR en el Perú, tienen solo el tratamiento primario. Esto quiere decir, que las aguas residuales tienen compuestos que pueden dañar al ecosistema pues pueden terminar como efluentes a un mar o río.

b) Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de aguas residuales es un proceso biológico que utiliza 4 procesos para remover hasta cerca del 90 % de los desechos biodegradables. Estos son los siguientes: proceso de lodos activados, aireación u oxidación total, filtración por goteo y tratamiento anaeróbico.

El tratamiento secundario más común es el de los lodos activados. Las aguas residuales que provienen del tratamiento primario pasan a un tanque de aireación en donde se hace burbujear aire o en algunos casos oxígeno, desde el fondo del tanque para favorecer el rápido crecimiento de las bacterias y otros microorganismos. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los desechos orgánicos de estas aguas. Los sólidos en suspensión y las bacterias forman una especie de lodo conocido como lodo activado, el cual se deja sedimentar y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado.



Figura 2.4.1-2. Lodos activados (Fibras y normas de Colombia S.A.S, 2015)

Como los tratamientos primario y secundario de aguas no eliminan a los nitratos ni a los fosfatos, éstos contribuyen a acelerar el proceso de eutrofización que es el enriquecimiento de los nutrientes en el medio acuático, de los lagos, de las corrientes fluviales de movimiento lento y de las aguas costeras.

Los productos químicos persistentes como los plaguicidas, y los radioisótopos de vida media alta, son eliminados por estos dos tratamientos. Los tratamientos: primario y secundario de las aguas eliminan cerca del 90 % de los sólidos en suspensión y cerca del 90 % de la materia orgánica (90 % de la demanda bioquímica de oxígeno) (ENZICLEAN, 2009).

c) **Tratamiento terciario**

A todo tratamiento de las aguas que se realiza después de la etapa secundaria se le denomina tratamiento terciario y en éste, se busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. En el tratamiento terciario de aguas residuales de desecho se pretende que el agua este lo más purificada posible antes de ser descargadas al medio ambiente. Dentro del tratamiento de las aguas de desecho para la eliminación de los nutrientes están la precipitación, la sedimentación y la filtración (F. I. A. Cortés, Moeller, Violeta, Estrada, & Hernández, 2015).

El principal objetivo del tratamiento terciario es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. El agua residual del tratamiento secundario trae algunos microorganismos patógenos, mal olor, mal color y lleva todavía diferentes características por las cuales no sería adecuado reutilizarla, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las comunidades (Arce, 2013).

Dependiendo del tipo de reutilización, se debe cumplir con la eliminación de ciertos microorganismos, es así que los tratamientos pueden ser de más a menos exigentes. Se utilizan los métodos de cloración, filtros con material apropiado, humedal artificial de flujo sub-superficial, radiación UV, etc. para mejora de la calidad de agua (Metcalf, E., & Eddy, 2014).

TABLA 2.4.1-1. Operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario de aguas contaminadas (Vergara et al., 2015)

OPERACIONES DE TRATAMIENTO TERCIARIO	
PROCESO	DESCRIPCIÓN
Micro filtración	La microfiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm.
Adsorción por carbón activado	La adsorción define la propiedad de ciertos materiales (adsorbentes) de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentran.
Intercambio iónico	Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.
Osmosis inversa	La Ósmosis Inversa consiste en aplicarle a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, produciéndose el paso de disolvente (agua) desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio.

2.5. IMPACTO AMBIENTAL

El Impacto Ambiental es el efecto, positivo o negativo, causado por una actividad humana sobre el medio ambiente. La ecología estudia la relación entre los seres vivos y su ambiente, mide el impacto ambiental y busca minimizar el efecto producido en el caso de impactos negativos.

Los impactos positivos son todos aquellos que benefician al medio ambiente en la zona impactada por la actividad humana desarrollada. Mientras que los impactos negativos son aquellos que perjudican la zona impactada y el daño severo del medio ambiente puede producir contaminación

El impacto ambiental, cuando es negativo, podría tener consecuencias sobre la salud de la población, la calidad del medio (aire, tierra, agua) y la belleza paisajística.

2.5.1. Vertido del efluente de la Planta Desalinizadora de OI

El principal impacto de una planta desalinizadora sobre el medio ambiente es la emisión de efluentes al mar. Estos efluentes pueden alterar las comunidades marinas. Aunque también existen impactos como el consumo excesivo de energía, la construcción del proyecto, la operación del proyecto el principal impacto en el que se enfocará este estudio será en el vertido del efluente en el mar de Santa María.

La característica principal del agua de la salmuera es su elevada salinidad que alcanza valores entre 68 y 90 psu (García & Ballesteros, 2014). Estos valores pueden ser reducidos si el agua de origen es salobre, captado de pozos o acuíferos y también si es mezclado con otro efluente para disminuir la salinidad, como el caso de PROVISUR. No obstante, al ser vertido un flujo de agua al océano cuya salinidad es mucho menor a esos valores, puede originar cambios en el ecosistema marino.

Por esto, la diferencia de salinidad también explica el compartimiento del vertido hipersalino. Se trata de una masa de agua muy densa que forma una capa sobre el fondo y que se mueva siguiendo las líneas de máxima pendiente (Palomar Herrero, 2014).

Por otro lado, la composición química de la salmuera puede afectar también al estado de las comunidades biológicas. Se sabe que el agua de mar captada es tratada con

aditivos químicos para controlar las incrustaciones, el fouling y la corrosión. El fouling se define como la acumulación de material no deseado en la superficie de los equipos de proceso (Le-Clech, Chen, & Fane, 2006). A pesar de esto, las concentraciones están reguladas por normas ambientales y las concentraciones son muy bajas no se descarta que puedan tener algún efecto tóxico o estresante sobre los organismos marinos, siempre y cuando no se cometa un error humano o mecánico en la dosificación de estos componentes. Un corte de energía o un descuido del operario podría perjudicar seriamente el medio marino con estos compuestos químicos.

La distribución de los organismos marinos está estrechamente relacionada con la temperatura y la salinidad, como lo demuestra el hecho de que, en zonas con muchas variaciones de salinidad, muchas especies no pueden sobrevivir. El vertido de salmuera en las costas del mediterráneo se produce desde la costa hasta profundidades de 50-60 metros sobre fondos blandos. Las principales comunidades bentónicas en el mediterráneo son; las *praderas angiospermas*, las praderas de *Caulerpa prolifera* y los fondos sin vegetación (Gacia & Ballesteros, 2014). Estas comunidades son importantes debido a que se encargan de la protección de la línea de costa y la retención de sedimentos, así como también, funcionan de hábitat para un gran número de organismos.

Es imposible, mantener por un largo tiempo, dos masas de agua con distintas propiedades físicas sin que se fusionen a una sola. El efecto de conjunto del vertido de salmuera sobre el mar es naturalmente nulo. La masa marina recibe unos iones que se le han extraído antes, por lo que no existe un efecto apreciable sobre la vida marina, sin embargo, hay un efecto localizado obvio. En los entornos cercanos al vertido de salmuera la salinidad es mayor que la normal del mar. El efecto negativo de la salmuera, por consiguiente, se circunscribe a que, en el ámbito hipersalino que rodea el punto de vertido, determinadas especies que no soportan altas salinidades pueden desaparecer.

Sin embargo, se conoce este efecto nocivo de la salmuera sobre las plantas marinas tanto en costas mediterráneas como en costas del océano pacífico.

Cada ecosistema marino tiene una reacción diferente ante los niveles de salinidad de cada descarga, donde las comunidades bentónicas y las algas marinas son las más sensibles. Existen casos donde dichas comunidades son tolerantes a las descargas

con una concentración de 10 psu, mientras que hay otras donde se ven afectadas con concentraciones de un rango entre 2-3 psu. En adición, ninguna comunidad presenta impactos si la salinidad es menor a 2-3 psu (Jenkins, Roberts, & Weis, 2012). No obstante, se han realizado pocos estudios sobre los efectos de las descargas de plantas desalinizadoras en campo y en laboratorio como para poder obtener un patrón sobre cuanto afecta a los ecosistemas marinos. Además, son escasos los estudios que muestran un impacto a largo plazo. En países desarrollados, donde la desalinización se encuentra más desarrollada y donde existe un mayor control ambiental de estos impactos, existen parámetros o rangos establecidos para los límites de desalinización. En la Tabla 2.5.1-1 se observan algunas ciudades y sus límites permitidos.

TABLA 2.5.1-1. Regulaciones y límites de salinidad para descargas de salmuera (Jenkins et al., 2012)

Región	Límite de Salinidad	Punto de entrega	Fuente
US EPA	Incrementa ≤ 4 psu		
Huntington Beach, CA	Absoluta ≤ 40 psu	300 m.	San Diego Regional W.Q.C.B. 2006
Australia Occidental	Absoluta ≤ 40 psu	300 m.	Santa Ana Regional W.Q.C.B. 2012
Oakajee port, Australia	Incrementa ≤ 5 psu		
Perth, Australia	Incrementa ≤ 1 psu		The Waters of Victoria State E.P.P
Sydney, Australia	Incrementa ≤ 1 psu	50 m. y 1000 m.	Wec, 2002
Gold Cost, Australia	Incrementa ≤ 2 psu	50 - 75 m.	ANZECC, 2000
Okinawa, Japón	Incrementa ≤ 1 psu	10 m.	GCD Alliance, 2006
Abu Dhabi	Incrementa ≤ 5 psu	10 m.	Okinowa Bureau for Enterprises
Oman	Incrementa ≤ 2 psu	300 m.	Sultanate of Oman, 2005

Durante el proceso de desalinización de las plantas de Osmosis Inversa, se utilizan ciertos aditivos químicos como; cloruro férrico, cloro, bisulfito sódico, entre otros. Estos aditivos, también pueden ser tóxicos para el ambiente marino si es que la dosificación no es regulada. La adición del ácido sulfúrico, es utilizado al inicio de la tubería que capta el agua del mar para evitar que la presencia de ciertos animales y plantas se adhieran a las paredes de las tuberías. Este componente es muy cuestionado y en algunas plantas no se suele utilizar. La lista completa de los componentes químicos se encuentra en la Tabla 2.5.1-2.

TABLA 2.5.1-2. Regulaciones y límites de salinidad para descargas de salmuera (Jenkins et al., 2012)

Componente	Agua de mar			Aguas residuales			Aguas subterráneas		
	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.	Min.	Prom.	Max.
TDS (mg/L)	66400	67200	68200	NA	NA	NA	25	6320	7000
TOC (mg/L)	NA	NA	NA	55	127	724	3.4	3.4	4.6
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0	0.02	0.46	153	207	294	0.2	0.21	1.15
Nitrato-Nitrógeno (mg/L)	0	0.09	2	0.1	0.7	15	0.2	2.65	19.8
Fosfato (mg/L)	0	0.007	3.1	2	12	44	0.1	0.1	0.1
Sulfato (mg/L)	0	5480	0	1087	1630	1967	9	710	3400
Arsénico (mg/L)	2.46	2.9	3.84	0.01	11	45	0	0.01	5.1
Bromuro (mg/L)	0	130	0	NA	NA	NA	10	10.4	10.4
Bario (mg/L)	0	0.1	0	147	240	335	0.2	0.39	0.735
Calcio (mg/L)	0	820	0	NA	NA	NA	53	734	960
Hierro (mg/L)	0	0.04	0	3	28133	49067	20	69	100
Magnesio (mg/L)	0	0.02	0	NA	NA	NA	43	63	230
Sílice (mg/L)	0	0.29	0.93	NA	NA	NA	54	100	160
Sodio	0	21800	0	2053	2357	2613	160	210	960

Algunos organismos han sido expuestos a distintas pruebas de laboratorio obteniendo impactos notorios debido a la presencia de una concentración mayor de sal de la que ya estaban habituados. Los moluscos, ante una presencia de 3 psu pueden reducir su tamaño y su peso. Así como también, su reproducción y emparejamiento es afectada por este impacto. Por otro lado, en los peces no se han observado mayores cambios. Otros seres vivos del ecosistema marino si han presentado algunos cambios ante la presencia de las concentraciones de cobre. Las algas marinas pueden reducir su crecimiento y expansión ante la presencia de una salinidad de 39 psu (Le-Clech et al., 2006).

A la fecha, existen pocos reportes donde se haya realizado un estudio tan extensivo y detallado; como el caso de Javea. Esto se debe a que, los impactos ambientales producidos por las plantas desalinizadoras no tienen más de 50 años, por ello se podría determinar ciertos impactos ambientales con una proyección de un periodo a 50 años, pero no podría proyectarse a más. A continuación, veremos un estudio para un mejor entendimiento de cómo reacciona un medio marino ante un vertido de salmuera.

Caso de Javea, España

En el caso de estudio de esta planta de Osmosis Inversa en Javea, Alicante los autores recopilaron las características de las tomas y descargas del agua. Durante el funcionamiento de una planta desalinizadora se puede producir un importante volumen de agua de rechazo, producto secundario compuesto por una salmuera de elevada salinidad (43 - 90 psu) y por otros aditivos químicos que se emplean en el proceso de desalación (Fernández Torquemada, Miguel González Correa, Carratalá Giménez, & Lizaso Sánchez, 2011).

La planta de OI de Javea produce un caudal de 6720 m³/d de agua potable por línea, con una conversión de 44.8 % y una producción máxima de 26800 m³/d (que se espera aumentar en el futuro a 40320 m³/d). El proyecto original de la planta localizaba el punto de vertido en el Río Gorgos, pero debido a la proximidad de las praderas de Posidonia oceánica se recomendó mover dicho punto al Canal de la Fontana, un canal artificial de 700 m que desemboca cerca de la playa del Arenal. También se propuso una mezcla inicial de la salmuera (68 psu) con el agua del Río Gorgos para conseguir una salinidad menor de 44 psu, y realizar la descarga mediante dieciséis difusores para incrementar su dilución en el canal (Fernández Torquemada et al., 2011).

Es necesario mencionar, que en los ríos y costas rocosas se encuentran mayor diversidad marina entre fauna y flora a diferencia de las playas abiertas, donde existe menor presencia animal por lo que siempre será una mejor alternativa que el emisario salga por una playa abierta para afectar de menor forma a la biología marina.

- Los resultados obtenidos del estudio de estos efectos fueron positivos.
- La salinidad nunca fue superior a los 44 psu en el Canal de Fontana.
- La zona afectada del vertido se vio muy reducida en verano y nula en invierno, observándose una dilución total en la mayoría de casos.
- La forma y dirección de la pluma fue la esperada, relacionada con la batimetría estudiada ocasionando ninguna incomodidad a las comunidades cercanas.
- La composición química de los vertidos se encontró valores muy bajos o indetectables de fósforo y nitratos.

Los organismos marinos no presentaron mayores diferencias durante la operación de la planta. Se observó la misma cantidad antes de la construcción. El desarrollo industrial, el cambio de usos del suelo y el mal manejo de los recursos hídricos han aumentado considerablemente la demanda de agua potable. En España, un 20% del territorio presenta problemas de escasez de agua (Libro Blanco del Agua en España, 1998). La desalinización de agua marina se presenta como la principal apuesta tecnológica para satisfacer la demanda de agua en costas españolas.

2.5.2. Vertido del efluente de la PTAR

Las aguas residuales que son tratadas parcialmente, como un tratamiento primario o inferior (filtración por rejillas) y son vertidas a ríos o mares deterioran considerablemente la calidad de sus aguas, resultando desfavorable para el libre uso agrícola y para el desarrollo de vida acuática (Carranza, C.C., 2004).

El principal contaminante que puede producir el vertido del efluente a los medios marinos son los sólidos suspendidos, disueltos, aceites grasas y sustancias tóxicas. Todo esto dependerá el tipo de tratamiento que reciben las aguas residuales antes de ser vertidas a un medio marino.

Un detonante para que el efecto contaminante aumente es el incremento de la población, por lo tanto, el aumento del afluente a una planta de tratamiento residual. Durante la década pasada en la ciudad de Tepic-Xalisco en México, se experimentó la tasa de crecimiento promedio anual población (TCPA) más alta a nivel estatal siendo del orden de 2.9%. Este fenómeno de crecimiento poblacional impactó en los recursos naturales, en especial en el recurso agua, el cual presentó una serie de problemas de manejo tales como: la disminución de la capacidad de recarga del acuífero, crecimiento de los volúmenes de aprovechamiento para diferentes usos (urbano, industrial, agrícola, pecuario) y la contaminación del río Mololoa, por el aumento de descargas de aguas residuales en todas sus secciones (Carranza, C.C., 2004).

El arsénico es una de las 10 sustancias químicas que la Organización Mundial de Salud considera más preocupantes para la salud pública. Los esfuerzos de la Organización por reducir la exposición al arsénico incluyen el establecimiento de valores guía, el examen de los datos científicos disponibles y la formulación de recomendaciones para la gestión

de los riesgos. En el Perú el límite de arsénico en el agua potable es de 10 µg/l, aunque este valor de referencia se considera provisional dadas las dificultades de medición y las dificultades prácticas relacionadas con la eliminación del arsénico del agua de bebida(OMS, 2013).

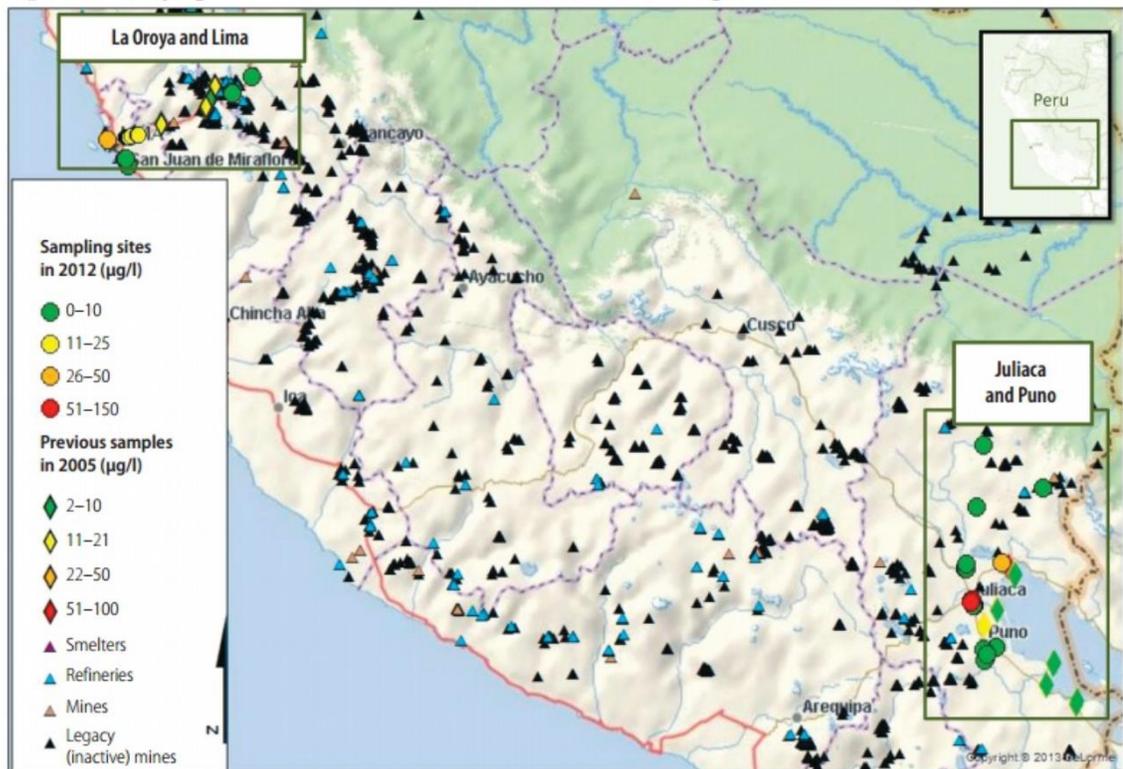


Figura 2.5.2-1. Muestreo de agua y concentraciones de arsénico entre el 2005 y 2012(George et al., 2014).

Esta sustancia es fácil de retirar, pero requiere un tratamiento terciario para removerlo. Como un proceso de osmosis inversa o un tratamiento con irradiación solar (luz ultravioleta) (Clido, Nieto, Ponce, Rodriguez, & Solís, 2001) . Incluso la ultrafiltración, que podría ser contemplado en un tratamiento secundario podría remover el arsénico. En el sur del Perú, en algunos ríos de Locumba, Puno e Ilo que están expuestos a vertidos de PTAR, presentan niveles que sobrepasan los límites de arsénico (Larios-Meño, González, & Olivares, 2015).

Asimismo, todas las muestras de agua recogidas en la sección del río Rímac, que atraviesa Lima, tenían concentraciones de arsénico desde 0 hasta 64 mg/l para aguas subterráneas y de 11 a 25 mg/l para aguas superficiales, superando en ambos casos el límite de la OMS, anteriormente señalado de 10 mg/l.

Por otro lado, una Urbanización donde las PTAR no función adecuadamente, se convierte en un foco infeccioso para los pobladores de estas comunidades sufriendo por lo general enfermedades como: cólera, hepatitis, la disentería, gastroenterocolitis, entre otros. (Larios-Meño et al., 2015)

2.6. TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES DE PLANTAS DESALINIZADORAS

La salmuera es vertida en el mar mediante efluente marino, sin embargo, bajo ciertas condiciones existen otras alternativas de disposición de la salmuera.

Como referencia de las tecnologías empleadas en la industria se adjunta la tabla siguiente donde se señala las ventajas y desventajas de cada proceso.

TABLA 2.6-1. Ventajas y desventajas de tecnologías para la reutilización de la salmuera (VEIOLA, 2015)

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Membranas de diferencia de presión	Recuperación de agua.	Elevado costo.
	Versatilidad.	Necesario un pretratamiento.
	Selectividad.	Ensuciamiento (scaling).
		Gestión del concentrado.
		Límite de concentración.
Electrodialísis	Recuperación de agua.	Elevado costo.
	Recuperación de compuestos.	Necesario un pretratamiento.
	Adecuada para efluentes de muy elevada salinidad.	Ensuciamiento (scaling).
		No separa especies neutras.
		Gestión de concentrado.
Evaporación mecánica	Permite ZLD.	Elevado costo.
	Permite explotar el concentrado.	Elevado consumo de energía.
	Recuperación de sal y minerales.	Producción de residuo sólido.
		Corrosión.
Evaporación solar	Permite ZLD.	Producción de un residuo sólido.
	Recuperación de sal y minerales.	Requiere área de terreno elevada.
	No consume energía.	Baja productividad.
	Bajo costo.	

Zero Liquid Discharge (ZLD), es un proceso que permite obtener un residuo sólido que luego puede trasladarse a depósitos o incluso, con el tratamiento adecuado, comercializarlo. Sin embargo, no es aplicable en toda industria que genere efluentes residuales. Es en todo caso empleado como último recurso por el proceso complejo que requiere una alta inversión inicial.

Es aplicable donde existe una severa escasez de agua o existen extremadamente altos costos en la descarga de los efluentes. Si no existe una exigencia mandataria por regulaciones de Gobierno debe ser evaluado cuidadosamente a fin de determinar el costo-beneficio.

El proceso está conformado típicamente por: un clarificador o reactor que sirve para precipitar los metales; empleo de químicos en el proceso de precipitación, floculación y coagulación; filtros prensa para concentrar los sólidos secundarios después del pretratamiento y en el evaporador; ultrafiltración (UF) para remover trazas de sólidos suspendidos y previniendo incrustaciones y corrosión en las tuberías aguas abajo del proceso; osmosis inversa para remover los sólidos aglomerados provenientes de la disolución en las primeras etapas; concentradores de salmuera, para concentrar el flujo del proceso de la osmosis inversa o de los rechazos en procesos de electrodiálisis; evaporadores para vaporizar el agua de las fases finales de concentración y antes de obtener los cristales y finalmente el *crystallizer* que permitirá obtener el secado final del queque para su disposición (Meca & Martinez, 2012).

La tecnología ZLD incluye el pre-tratamiento y evaporación del efluente industrial hasta que los sólidos disueltos precipiten como cristales. Estos son luego removidos y secados. El vapor generado en la evaporación es condensado y vuelto al proceso.

Evaporación Solar

A diferencia de otras tecnologías de evaporación, el uso exclusivo del recurso solar reduce muy significativamente los costos energéticos de tratamiento. Este sistema permite la evaporación del contenido en agua a razón de 1,4 a 2 m³/m² al año pero requiere de grandes extensiones de terreno y es usualmente recomendada donde la radiación solar es elevada (Meca & Martinez, 2012).

El Salar de Atacama en el norte de Chile es fuente de salmueras subterráneas, formadas por lixiviación natural desde la cordillera de Los Andes: a través del tiempo, los diversos

minerales encontrados bajo la corteza de superficie salada, han descendido desde las montañas y se han acumulado en concentraciones crecientes.

Además de las altas concentraciones de sus salmueras, el Salar de Atacama tiene otra serie de ventajas: permite bajos costos de procesamiento debido a su reducido contenido de magnesio; tiene mayores índices de evaporación que otras planicies de sal del mundo y da la posibilidad de operar todo el año, gracias a las privilegiadas condiciones climáticas que lo favorecen.

En conclusión, el proceso ZLD es muy costoso frente al vertido del efluente en el mar y el proceso de evaporación además de requerir de grandes extensiones planas de terreno requiere de condiciones climáticas donde la tasa de evaporación sea alta dada la radiación solar existente en la zona.

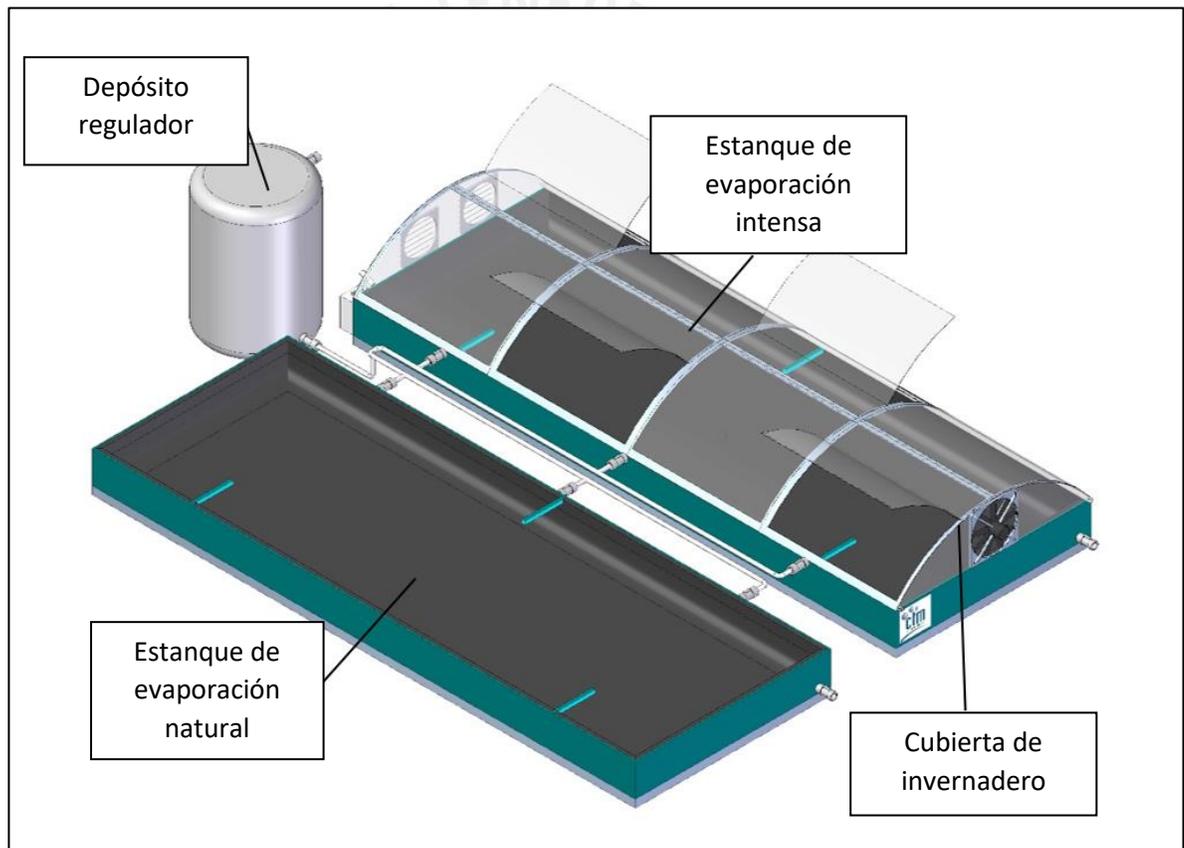


Figura 2.6-1. Balsas de evaporación natural y forzada, Adaptado de Gestión de Salmueras (Meca & Martínez, 2012)

2.7. MARCO LEGAL

2.7.1. Marco Legal y Normativa en Perú

En el Perú se cuenta con una serie de normativas correspondientes al vertimiento de los efluentes del proceso de agua desalinizada y también en relación al tratamiento de aguas residuales en las PTARS. Estas son:

D.S. N° 002-2008-MINAM, julio del 2008.

Aprueba los estándares de calidad ambiental para Agua (ECA)

D.S. N° 022.2009- VIVIENDA, (Norma técnica OS.090 PTAR), noviembre 2009

Modifica la norma OS.090 PTAR del Reglamento Nacional de Construcciones.

Define el tratamiento primario y señala los estudios requeridos para el diseño del emisario submarino.

D.S. N° 023-2009-MINAM, diciembre del 2009

Disposiciones para la implementación de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua

D.S. N° 001-2010-AG Ley General de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, marzo 2009

La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta. La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.

La Autoridad Nacional del agua (ANA) autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y

sustentados científicamente, la ANA debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la ANA suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas.

Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, marzo 2010

Aprobar la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros, conforme a la relación que se adjunta en el Anexo N° 1 y que forma parte de la presente Resolución, de acuerdo al Informe Técnico N° 0112-2010-ANA-DCPRH-ERH-CAL de fecha 18-03-2010.

El objetivo de los tratamientos de aguas residuales es poder reducir los contaminantes del agua residual captada para que cumpla los valores permitidos en cada país. En el Perú, el decreto que regula estos valores se llama Límites Máximos Permisivos (D.S. N° 003-2010-MINAM, artículo 3.2°). Es decir, para cumplir las leyes peruanas, toda planta de tratamiento debería implementar una tecnología como de Lodos Activados o superior.

Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA, mayo 2013

Aprobación del nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas.

También se hace breve mención en el artículo 9° al vertimiento de efluentes del proceso de desalinización, *que deberá ser autorizado por la Autoridad Nacional de Agua (ANA) debiendo verificarse el cumplimiento de los ECA-agua y de la no afectación de los ecosistemas marinos. En el caso de efluentes líquidos la disposición final se efectuará previo tratamiento.*

Resolución Ministerial N° 031-2014-MINAM, febrero 2014

Disponer publicación del Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas Desalinizadoras.

“Los Límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de Plantas Desalinizadoras impactarán transversalmente sobre el marco normativo de los distintos sectores productivos extractivos y de servicios con competencias ambientales.

La Norma propuesta es concordante con la constitución política del Perú y demás normatividad aplicable vigente.”

D.S. N° 015-2015-MINAM, 2015, diciembre 2015

Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

D.S. N° 004-2017-MINAM, junio 2017

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

2.7.2. Estándares de calidad de agua

“La Calidad del Agua para Consumo Humano, es de obligatorio cumplimiento para toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro del territorio nacional, que tenga responsabilidad de acuerdo a ley o participe o intervenga en cualquiera de las actividades de gestión, administración, operación, mantenimiento, control, supervisión o fiscalización del abastecimiento del agua para consumo humano, desde la fuente hasta su consumo.” (Ministerio de Salud, 2014).

Es requerido entonces que todas las organizaciones que suministran cualquier forma de agua potable a la población o a sus colaboradores en caso de empresas productivas o de servicios respeten rigurosamente la calidad de agua que produzcan o procesen.

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua identifican y reconocen la presencia de minerales, entre otras cargas inorgánicas y orgánicas, que pueden estar presentes en los ríos, lagunas y lagos del país. Asimismo, definen las concentraciones bajo las cuales sus aguas podrían ser empleadas en diversos usos, considerando para ello referentes internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), entre otros.

La reciente modificación de los ECA para agua, establecida por el Ministerio del Ambiente (MINAM), se sustenta precisamente en los últimos estudios de la OMS, EPA y la FAO, entre otros. Minerales como cromo y arsénico ya estaban considerados desde los primeros ECA para aguas aprobadas en el año 2008. Esta modificación, adecúa estos parámetros a los referentes internacionales ya citados. Si bien es cierto, los valores de los parámetros para algunas de los usos definidos en los estándares de calidad ambiental para agua, se han incrementado, ello se sustenta en estudios e investigaciones que han originado las modificaciones de las guías o la normativa internacional.

Debe precisarse que, si bien los ECA para agua involucran cuatro categorías de agua, entre ellas aguas superficiales para la producción de agua potable que podrían ser empleadas para consumo humano (así como para riego y bebidas de animales, preservación de ecosistemas, etc.), en estricto el agua para consumo humano se rige por otras normas sanitarias en el país que verifican las condiciones de su aptitud, de allí que la modificación no puede ser entendida como una reforma de las normas sanitarias aplicables al tratamiento de aguas para consumo a cargo del Ministerio de Salud (MINSA).

En ese sentido, cabe mencionar que el Sector Salud ha refrendado el Decreto Supremo, lo cual refleja que el mismo es coherente con el Reglamento de Agua de Consumo Humano aprobado por el MINSA. Por otro lado, la modificación de los ECA para Agua no afecta la fiscalización regular a las cuales son sometidas las diferentes actividades productivas (MINAM, 2015).

Uno de los contaminantes es el arsénico una de las 10 sustancias químicas que la Organización Mundial de Salud considera más preocupantes para la salud pública. Los esfuerzos de la Organización por reducir la exposición al arsénico incluyen el establecimiento de valores guía, el examen de los datos científicos disponibles y la formulación de recomendaciones para la gestión de los riesgos. En el Perú el límite de arsénico en el agua potable es de 10 µg/l , aunque este valor de referencia se considera provisional dadas las dificultades de medición y las dificultades prácticas relacionadas con la eliminación del arsénico del agua de bebida (OMS, 2013)

Esta sustancia es fácil de retirar, pero requiere de un tratamiento terciario en el caso de las PTAR para removerlo. Este proceso es el de Osmosis Inversa o un tratamiento con luz ultravioleta. Incluso la ultrafiltración, que podría ser contemplado en un tratamiento secundario podría remover el arsénico y que alcance el límite establecido por la OMS.

En el sur del Perú, en algunos ríos de Locumba, Puno e Ilo que están expuestos a vertidos de PTAR, presentan niveles que sobrepasan los límites de arsénico (Larios-Meño et al., 2015). Asimismo, todas las muestras de agua recogidas en la sección del río Rímac, que atraviesa Lima, tenían concentraciones de arsénico desde 0 hasta 64 mg/l para aguas subterráneas y de 11 a 25 mg/l para aguas superficiales, superando en ambos casos el límite de la OMS.

Sin embargo, el DS 004-2017 revisa estos parámetros y la Tabla 2.7.2-1 resume los parámetros consolidados.

TABLA 2.7.2-1 Parámetros y Valores consolidados *DS 004-2017-MINAM (28.02.18)*

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 2	
		C1	C3
Aceites y grasas	mg/L	1	2
DBO	mg/L	-	10
Fósforo Total	mg/L	0.062	-
OD (valor mínimo)	mg/L	4	2.5
SST	mg/L	80	70
pH	Unidad de pH	7-8,5	6,8-8,5
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
C.T.	NMP/100 ml	< 14 (A.A)	1000
	NMP/100 ml	< 88 (A.R)	

En la Resolución Jefatural N° 139-2014-ANA se establece que el cuerpo de agua marino ubicado frente a los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo y Santa María del Mar debe ser evaluado para la Categoría 2. También debe ser evaluada con la sub categoría C1 si el vertimiento esta entre la Línea de Alta Marea (LAM) y los 500 metros. Si es mayor a 500 metros debe ser evaluada con la sub categoría C3.

El Área Aprobada (A.A) es el área donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal. El Área Restringida (A.R) son las áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para el consumo humano, luego de ser depurado(MINAM, 2010).

2.7.3. Límites Máximos Permisibles (LMP)

La ley de Recursos Hídricos en su artículo 135° “Prohibición de efectuar vertimientos sin previa autorización” describe que ningún vertimiento de aguas residuales puede ser efectuado en el medio marino sin la autorización del ANA y sin un previo tratamiento. La condición para la autorización de vertimientos de agua residual tratada se encuentra en el artículo 133°, donde las principales condiciones son el cumplimiento de los Límites Máximos Permisivos detallados en la Tabla 2.7.3-1.

TABLA 2.7.3-1 Eficiencias requeridas para cumplir con los LMP *Fuente: D.S. N° 003-2010-MINAM*

PARÁMETRO	AGUA RESIDUAL CRUDA		LMP	EFICIENCIA REQUERIDA	
	Valor Máximo	Valor Promedio		Máximo	Promedio
DBO	500	250	100	80%	60%
SST	600	300	150	75%	50%
CT	1,00E+09	1,00E+08	10000	100.00%	99.99%

La norma fundamental para la gestión de los recursos hídricos en el Perú es la Ley De Recursos Hídricos, D.L. N° 29338, que rige sobre las aguas marítimas, terrestres y atmosféricas del territorio nacional en todos sus estados físicos. El Reglamento de la Ley

de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010-AG (24 de marzo del 2010) regula los efluentes vertidos a cuerpos marinos y los límites permisivos. Se enfoca en los artículos que están relacionados a la emisión de efluentes al medio marino (MINAM, 2010).

TABLA 2.7.3-2 Límites Máximos Permitidos para efluentes de PTAR *Fuente: DS 003-2010-MINAM (17.03.10)*

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP
Aceites y grasas	mg/L	200
C. T.	NMP/100mL	10000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
SST	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

No obstante, en el D.S. N° 003-2010-MINAM en el artículo 3.2° señala “Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino”.

Se interpreta que un Estudio de Impacto Ambiental para una PTAR con emisor submarino no puede utilizar estos parámetros. En el caso de efluente con emisor submarino, se utilizan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-agua). El ECA es legalmente “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente” (MINAM, 2015).

2.8. MODELAMIENTO NUMÉRICO

2.8.1. Generalidades

En los últimos años, la modelación matemática ha adquirido cada vez más importancia en el campo de la hidrodinámica. Los modelos numéricos de fluidos derivan sus ecuaciones del principio de continuidad, de la ecuación de Navier-Stokes y de las ecuaciones de Termodinámica. En particular, todos los modelos hidrodinámicos se basan en el modelo de ondas larga en base a las ecuaciones de Reynolds Average Navier Stokes (INSTITUTO NACIONAL DE HIDRAULICA, 2010).

Los países europeos y Estados Unidos cuentan con el desarrollo de los principales softwares de licencias de uso comercial en el mercado. Estos, cuentan con el respaldo y validez de los distintos agentes fiscalizadores que velan por el cuidado ambiental (EPA, SMIC, etc.). Entre los principales desarrolladores se puede encontrar universidades norte-americanas que buscan crear un producto gráficamente amigable y fácil de usar. Por este motivo, los precios son mucho más bajos comparados con los de los desarrolladores europeos debido a que estos invierten en una constante mejora del motor de cálculo para ser más eficientes y rápidos desde el punto de vista computacional. La principal desventaja de estos softwares es el alto costo de la licencia temporal. Son pocas las empresas que invierten en estos programas. Sin embargo, existen versiones de prueba o capacitaciones en Internet para las investigaciones personales como ha sido en mi caso.

El modelo numérico es utilizado para definir las relaciones matemáticas entre las fuerzas que actúan sobre las masas de agua y así predecir la estructura y movimiento de las mismas. Las herramientas numéricas utilizadas (diferencias finitas, elementos finitos y volúmenes finitos) contribuyen a la definición de la hidrodinámica de las masas de agua. Se puede predecir de este modo las mareas y corrientes, la circulación generada por acción del viento y por la estructura de la densidad.

Los modelos numéricos son utilizados en los proyectos relacionados con la hidrodinámica y sirven para el análisis, predicción y diseño de vertidos líquidos-contaminantes o no contaminantes- en medios acuosos, lo que los convierte en una herramienta fundamental para obtener información detallada de los mecanismos

hidrodinámicos que controlan el flujo, dilución e información geométrica relativa a su forma (MEDVSA, 2012).

En el campo de la industria el modelo numérico tiene aplicación en la eliminación de efluentes por vertido al mar. Los efluentes pueden provenir de las plantas desalinizadoras que devuelven el agua de rechazo del proceso, denominado salmuera, utilizando un emisario submarino que se interna mar adentro y que busca la dispersión en la zona de corrientes. También se tienen efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que en su proceso consideran la descarga del efluente al mar utilizando un emisario submarino. Existe una opción en los procesos industriales cuando se construyen plantas desalinizadoras cerca de una planta de tratamiento de aguas residuales, en este caso se hace un vertido de efluente mezclado que se logra diluyendo la concentración de salmuera con el agua residual tratada de la PTAR antes de su vertido al mar con el emisario submarino.

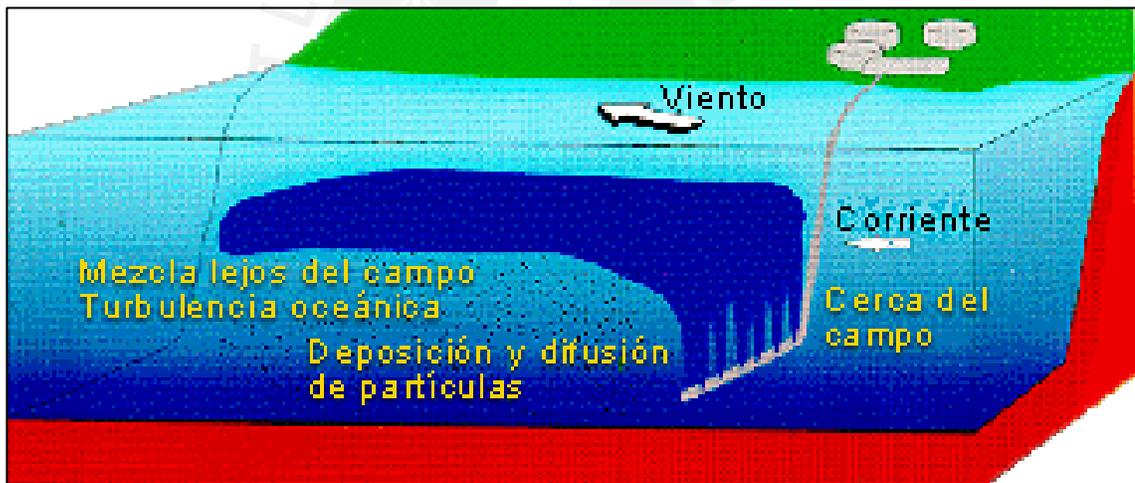


Figura 2.8-1. Emisarios submarinos (León, 1995)

2.8.2. El modelo CORMIX

La descarga de salmuera a través de un emisario submarino permite reducir la salinidad mediante el proceso de mezcla y dispersión. La dilución se alcanzará en el denominado “campo cercano”. En esta zona las características de descarga del efluente condicionan la trayectoria y la mezcla (MEDVSA, 2012).

El comportamiento del vertido puede ser predicho empleando las variables de diseño para reducir la concentración junto con los estudios de los fenómenos físicos.

Los modelos de diseño hidráulico se basan en el análisis hidráulico (gradiente de densidad, temperatura, coeficientes de difusión de componentes y las condiciones mecánicas del cuerpo receptor (oleaje, corrientes, mareas). Los contaminantes de la salmuera tienen una presión osmótica que son contempladas en el modelo matemático para dispersión del efluente (Sánchez-Lizaso et al., 2008).

El modelo CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*) fue desarrollado en la Universidad de Cornell en EEUU en colaboración con la Agencia de Protección ambiental. Básicamente es un modelo para el análisis, predicción y diseño de vertidos líquidos contaminantes o no contaminantes en medios acuosos.

El modelo reproduce la forma y dispersión de la pluma de vertido en las proximidades del efluente en el punto de mezcla. Analiza las descargas sumergidas a través de las múltiples bocas de descarga con flotabilidad positiva o negativa y también descargas superficiales con flotabilidad positiva que contienen contaminantes convencionales o tóxicos. El programa suministra la información detallada de los mecanismos hidrodinámicos que controlan el flujo, dilución e información geométrica relativa a su forma. (Mercedes Antuanet Calzada, 2012)

2.8.3. El modelo VISJET

El modelo JETLAG, LAGrangian JET model, se incluye entre las herramientas de programas VISJET cuyo principal desarrollador es la Universidad de Hong Kong.

JETLAG simula el vertido mediante chorros sumergidos individuales o múltiples, de efluentes de flotabilidad positiva, negativa y neutra teniendo en cuenta las condiciones en el medio receptor (MEDVSA, 2012).

Este software es un modelo lagrangiano tridimensional que no resuelve estrictamente las ecuaciones diferenciales de movimiento y transporte, sino que realiza una simulación de los procesos físicos clave expresándolos mediante ecuaciones gobernantes. El modelo descompone el chorro tridimensional continuo en una sucesión de secciones dispuestas secuencialmente que, siguiendo la trayectoria del chorro inclinado, se incrementa su masa por incorporación de agua del medio receptor, debido a la velocidad de salida del chorro y a la presencia de la corriente ambiental (Palomar Herrero, 2010).

2.8.4. El modelo VISUAL PLUMES

El paquete VISUAL PLUMES es la versión en Windows del original programa de DOS PLUMES, de la Agencia de Protección Ambiental Americana (USEPA). El programa incluye distintos módulos para la simulación de vertidos mediante chorros sumergidos individuales o múltiples, considerando las condiciones ambientales del medio receptor (MEDVSA, 2010). Este modelo se enfoca en la simulación de transporte de sustancias contaminantes biológicos patógenos derivados del vertido de aguas residuales urbanas en zonas costeras. Posteriormente, estos modelos han extendido su ámbito de aplicación al vertido de efluentes de flotabilidad negativa, como la salmuera. Por estos motivos, es el programa que contiene la interfaz desde donde se accede a las distintas herramientas de simulación (MEDVSA, 2012).

En la Tabla 2.8.4-1 siguiente muestra un resumen de los diferentes modelos de simulación del comportamiento de vertidos. Actualmente el único modelo que puede simular vertidos de flotabilidad negativa, como la salmuera, es el UM3.

TABLA 2.8.4-1. Principales modelos del paquete VISUAL PLUMES (*VISUAL PLUMES*, 2012)

HERRAMIENTAS, SUBMÓDULOS DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES			
<i>Campo Cercano y lejano</i>	Modelos basados en el análisis dimensional	NRFIELD (RSB)	Efluentes de flotabilidad positiva
			Vertido sumergido, mediante tramo difusor de chorros múltiples. Dos boquillas por elevador, chorros bilaterales, formando 180° entre sí.
			Modelo 3D basado en análisis dimensional. Parámetros experimentales derivados de los ensayos de laboratorio de Roberts, 1989.
	Modelos de ecuaciones integradas	DKHW	Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo multidifusor.
			Efluentes de flotabilidad positiva.
			Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
			Modelo euleriano tridimensional.
		UM3	Vertido mediante chorro individual o con tramo multidifusor.
			Efluentes de flotabilidad positiva y negativa.
			Modelo lagrangiano tridimensional.
		PSDW	Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
			Vertidos directos superficiales desde canales, en un medio receptor de movimiento.
Efluentes de flotabilidad positiva.			
<i>Campo lejano</i>	Ecuación de Brooks	FRFIELD	Estimación de la dilución en campo lejano mediante la ecuación de Brooks.
			Efluente de flotabilidad positiva.
			Modelo euleriano tridimensional.
<i>Adicionales</i>	DOS PLUMES		Permite aprovechar los casos y resultados obtenidos con la versión anterior del programa: PLUMES

2.8.5. Diferencias entre CORMIX y VISUAL PLUMES

Para obtener los resultados más precisos en cuanto a la elección del programa para modelamiento, es necesario determinar cuáles son las diferencias entre ambos programas que pueden ser utilizados para un mismo proyecto y obtener datos distintos que pueden generar un impacto ambiental no previsto. El software CORMIX pone énfasis en las interacciones frontera ya que afecta a los procesos de mezcla. Además, representa límites verticales y laterales a través de un proceso llamado esquematización. La esquematización permite al analista predecir el comportamiento del flujo en las costas, regiones bentónicas y otras regiones de importancia biológica.

VISUAL PLUMES no desarrolla los efectos de los límites verticales u horizontales en la mezcla o en la estabilidad de la descarga. Esto se debe a la ausencia de cualquier proceso de esquematización, simplemente supone que el cuerpo del medio receptor es infinito, los problemas de estabilidad de flujo y/o interacción límite no se abordan. Cuando se diseñan vertidos de flotabilidad positiva, ninguno de los modelos de VISUAL PLUMES es capaz de detectar la presencia del fondo (MEDVSA, 2010). Por otro lado, CORMIX simula la mezcla de la densidad en las corrientes a campo lejano. Estas corrientes de densidad son flujos de gravedad que colapsan en capas horizontales y resisten la transición a la difusión pasiva. Además, utiliza métodos de longitud para simular estos efectos calculados por un motor de desarrollo bajo los criterios de estabilidad de Richardson.

VISUAL PLUMES no considera la existencia de este importante proceso físico. Las corrientes de densidad no son simuladas. CORMIX simula estelas en el campo cercano y efectos dinámicos Coanda. Estos efectos pueden causar altas concentraciones de contaminantes en el lecho marino en la proximidad de la descarga. Debido a la importancia de las comunidades bentónicas se requieren evaluaciones de los impactos en lecho marino. VISUAL PLUMES no tiene mecanismos para verificar o simular estos efectos en el campo cercano debido a que asume un cuerpo de agua infinita por lo que no tiene mecanismos para determinar los impactos en las comunidades bentónicas en el campo cercano. CORMIX proporciona una clasificación rigurosa de los flujos para determinar la estabilidad de la descarga y para asegurar el correcto modelo de la aplicación. CORMIX usa técnicas de inteligencia artificial para cumplir la consistencia de datos, proporcionar una evaluación característica de la zona de mezcla. CORMIX contiene una base de datos con más de 2000 normas para evaluar la descarga y las condiciones ambientales. Estas normas están documentadas por el sistema y se apoya en la investigación científica.

VISUAL PLUMES no tiene procedimiento documentado para la selección del modelo. No hay orientación o si los datos de entrada son consistentes dentro de un supuesto modelo interno.

CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDIO: PROYECTO PROVISUR

El caso de estudio de este proyecto de investigación fue el Proyecto Provisión de Servicios de Saneamiento para los Distritos del Sur de Lima (PROVISUR). Este proyecto consiste, principalmente, en una planta desalinizadora que plantea captar aguas del mar y beneficiar a 100,000 pobladores (en la temporada de verano) de los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo y Santa María del Mar (ver Figura 3-1). El inicio de operación del proyecto estaba programado para el 2016, pero debido a problemas con el estudio de impacto ambiental empezó su ejecución a inicios del 2018. Esta iniciativa apunta a desalinizar el agua de mar de cuatro distritos del sur de Lima a fin de que cuenten con agua potable y alcantarillado de manera continua.

La inversión referencial del proyecto es de alrededor de US\$ 100 millones y la concesión es por 25 años (GESTION, 2014). Entre los principales beneficios del proyecto está el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos producto de un proceso de desalinización, para el abastecimiento de agua potable de la zona de influencia del proyecto. Así también el mejoramiento de la gestión de los servicios de agua y saneamiento en los balnearios del sur de Lima; y la ampliación de la cobertura de agua potable y alcantarillado. Asimismo, el tratamiento y disposición final de las aguas residuales, acorde a la normativa ambiental vigente y la reducción de las enfermedades.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto PROVISUR abarca las áreas de los distritos de Santa María del Mar, San Bartolo, Punta Negra y Punta Hermosa. Sin embargo, la localización de las plantas estará en Santa María del Mar, como se puede apreciar en la Figura 3.1-1.



Figura 3.1-1. Ubicación del Emisario submarino del proyecto PROVISUR (Fuente: Google Maps)

Este proyecto está compuesto de lo siguiente:

- a) Redes de distribución de agua potable
- b) Redes de saneamiento
- c) Sistema de captación
- d) Instalación Desalinizadora de Agua del Mar
- e) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- f) Emisario submarino

El objetivo del proyecto será permitir que los cuatro distritos del Sur de Lima cuenten con agua potable y alcantarillado de manera continua y no interrumpida como se va desarrollando actualmente. El proyecto se ubica exactamente en la región Lima,

provincia de Lima, con vías de acceso entre los Km 40 y 60 de la carretera Panamericana Sur. Este proyecto es desarrollado a través de un contrato de concesión entre el estado (Pro Inversión) y la concesionaria CODESUR. El tiempo de vida útil del proyecto es de un periodo de 25 años. El costo total estimado del proyecto es de S/ 288'757'600.00 (ECSA INGENIEROS, 2015).

El principal motivo para la realización de esta inversión se debe a que los distritos mencionados anteriormente presentan una serie de deficiencias en su sistema de agua potable. El abastecimiento es insuficiente para atender la demanda diaria de agua potable por parte de la población. Esto empeora en las temporadas de verano, debido al incremento temporal de la población. Por otro lado, la fuente de suministro de agua se encuentra muy alejada de los centros de consumo.

Además, las redes de agua potable y desagüe son muy antiguas, pues ya han cumplido su vida útil y no se han invertido en una modernización de estas por lo que ocasiona pérdidas de agua. Asimismo, las infraestructuras de almacenamiento están en muy mal estado y a esto se le debe agregar que se deben impulsar caudales desde el lugar en el que se encuentra la fuente de suministros, debiendo salvar grandes distancias y desniveles (ECSA INGENIEROS, 2015).

Sin embargo, no se realiza el debido análisis de la calidad de agua trasladada en los camiones cisternas. Es necesario mencionar, que, en las épocas de alta demanda, los camiones cisterna son una alternativa para numerosos vecinos de estos distritos; además del excesivo precio por metro cúbico de agua normal se obtiene un producto de pésima calidad (Pereyra, 2016).

El distrito de Punta Negra no cuenta con un servicio de alcantarillado por parte de SEDAPAL, por lo que la población dispone de sus aguas residuales en tanques sépticos, pozos de percolación y silos. Gran parte de estos, se encuentran sin la revisión actualizada y presentan impactos ambientales a la zona. Como se puede observar, este proyecto contará con varios componentes, pero el caso de estudio se centrará en el efluente que generará la Planta de Tratamiento de Desalación de Agua de Mar – IDAM y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR. La IDAM está compuesta de: Pre tratamiento; Osmosis Inversa; Post tratamiento; Almacenamiento de agua producto; Evacuación de Salmuera y otros efluentes.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE SALMUERA DE LA IDAM

La captación de agua para la planta desalinizadora se da a través de una conducción submarina de una longitud total de 517.8m. La IDAM es el sistema de tratamiento para la obtención de agua potable. Este se encontrará ubicado en propiedad de la Municipalidad Distrital de Santa María. El agua captada es llevada por varios procesos de tratamiento previo antes de que se realice el proceso de Osmosis Inversa. En este proceso, se proyecta una producción diaria de 11 635,20 m³/d por línea para un periodo de funcionamiento de 22 horas al día. El caudal de cada bastidor de ósmosis inversa es de 1175,27 m³/h y de rechazo de 646,40 m³/h trabajando así con una conversión de 45% (ECSA INGENIEROS, 2015).

Este proyecto tendrá dos fases. En la primera fase se espera un caudal de vertimiento de 318,65 l/s y en la segunda fase se espera un caudal de vertimiento de 180,00 l/s adicional. En la Tabla 3.2-1 se puede observar la composición del efluente de la IDAM de PRVOVISUR.

TABLA 3.2-1. Composición del efluente de la IDAM(ECSA INGENIEROS, 2015)

PARÁMETROS	FASE 1	FASE 2
PH	7.6 - 8.0	7.6 - 8.0
SDT (mg/l)	63718	63768
SST (mg/l)	77.62	77.68
Turbidez	39	39
Coliformes Termotolerantes (NMP/ 100 ml)	1.8	1.8

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR

La nueva PTAR reemplazará a las PTAR existentes ubicadas en los distritos de Punta Hermosa, San Bartolo y Santa María del Mar. Estas plantas tenían tratamiento primario y secundario. Las aguas residuales tratadas en la PTAR de PROVISUR tendrán un caudal de 159 l/s, en la primera fase, y 204 l/s en la segunda fase, de las cuales 24 l/s serán destinados al reusó resultando que, 135 l/s en la primera fase y 180 l/s en la

segunda fase, serán descargados a través del emisario submarino (ECSA INGENIEROS, 2015). La nueva PTAR contará con los siguientes procesos:

a) Desbaste

El desbaste de sólidos está formado por 3 canales paralelos. En 2 de los canales se instala una reja de limpieza automática de 25 mm de paso y un tamiz auto limpiante de 3 mm de la luz de malla. En el tercer canal, que realiza la función de bypass, se instala una reja manual de 15 mm de paso.

b) Tratamiento Primario

Cada canal de desbaste se aísla con 2 compuertas de accionamiento manual, ajustando el número de líneas de funcionamiento, de forma automática, al número de bombas de agua bruta en funcionamiento, con el fin de ajustar las velocidades de paso al caudal tratado. En esta parte, se prevé el vaciado de los canales de desbaste de forma independiente.

Los residuos que son extraídos por las rejillas se vierten sobre 2 tornillos transportadores compactadores, uno, para los tamices y otro para las rejillas.

c) Tratamiento Secundario

Se aplicará un proceso biológico para eliminar la materia orgánica biodegradable. Para la medida del caudal de entrada al tratamiento biológico se dispone un medidor del tipo electromagnético, instalado en tubería, con medida a sección llena. El diámetro del medidor es 400mm. La regulación del caudal de entrada se realizará con una válvula reguladora. Finalmente, se conducirá a una arqueta de reparto para el tratamiento biológico.

d) Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario estará compuesto primero por un bombeo de alimentación para la filtración. Este sistema de bombeo está compuesto por 3 bombas centrífugas sumergibles. El sistema de filtración será por un tambor rotativo con un grado de filtración micras, que es el grado de filtración adecuado para la eliminación de los huevos de nematodos intestinales.

Acto seguido, se procederá con una desinfección por hipoclorito sódico. Se ha previsto un sistema para la desinfección de agua tratada con una dosis media de 5mg/L.

Finalmente, se ha proyectado un depósito de forma rectangular con un volumen de 288 m³ para que el producto tenga un tiempo de reposo mayor a 20 minutos y se produzca una correcta dilución del hipoclorito sódico.

e) Línea de Lodos

En el tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo principal es eliminar la contaminación antes de su vertido al cauce receptor, se generan una serie de subproductos denominados lodos, donde se concentra la contaminación eliminada, y cuyo tratamiento y evacuación puede ser problemática.

La extracción de lodos de los decantadores secundarios se realiza en forma secuencial, que lo envía al bombeo de lodos en exceso, controlando las purgas de cada decantador de forma independiente mediante válvulas de accionamiento neumático.

El rendimiento de la eliminación del Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en el tratamiento biológico está previsto del 89,80%, la tasa de producción de lodos para el dimensionamiento es de 0,7 kg lodo/kg DBO eliminada, lo que significa un caudal diario de purga de 370 m³/d en la Fase 1 y de 475 m³/d en la Fase 2 (ECSA INGENIEROS, 2015).

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE COMBINADO

Los efluentes que serán vertidos mediante el emisario submarino consisten en salmuera procedente de la planta desalinizadora y la purga de flotadores DAF. Estos efluentes se mezclarán con el efluente tratado de las PTAR en una infraestructura denominada arqueta, lográndose la dilución de la concentración salina.

Respecto al vertido de la salmuera, después de la mezcla con el efluente de la PTAR, se estima una dilución inicial de 1:50 como mínimo. El mar de Santa María tiene un promedio de 36 psu (*donde psu es la medida de salinidad o equivalente a gramos de sal por litro*) en cuanto a salinidad. Según cálculos de diseño realizado por ECSA Ingenieros,

la salmuera generaría un incremento de valor en la zona de mezcla de 36.55, es decir, un incremento de menos de 1 psu (ECSA INGENIEROS, 2015).

3.5. MODELAMIENTO NUMÉRICO DESARROLLADO POR ECSA INGENIEROS

El estudio de la dispersión fue desarrollado por ECSA ingenieros. Para su desarrollo, fue necesaria la caracterización, mediante el modelaje numérico, del patrón de corrientes bajo condiciones de viento y marea de la zona, lo que generará las condiciones hidrodinámicas para la modelación de dispersión tanto en campo cercano como lejano y así determinar el posible impacto de la descarga sobre el medio receptor.

Para esto se realizó la comparación de los resultados obtenidos en la modelación de dispersión con lo establecido en la reglamentación vigente de según el D.S N° 002-2008-MINAM en donde se aprueban los Estándares Nacionales de Calidad de Ambiental para el Agua (ECA-Agua) de acuerdo a la categoría de uso. Además, al no contar con normativa peruana que regule el parámetro de la salinidad, se realizó la comparación con el Real Decreto Español 345/1993 y el estándar recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos la salinidad de agua de mar no puede variar en más de 4 mg/L.

Asimismo, se ha considerado la R.J N° 139-2014-ANA donde se establecen la clasificación del cuerpo de agua marino costero ubicado frente a los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, provincia y departamento de Lima. En dicha Resolución Jefatural se establece que el cuerpo de agua entre la Línea de Alta Marea (LAM) y los 500 m debe ser evaluado considerando la Categoría 2: "Actividades Marinos costeras", subcategoría 1: "Extracción y cultivo de moluscos bivalvos", mientras que el cuerpo de agua ubicada mayor a los 500m, se debe evaluar considerando la Categoría 2: "Actividades Marinos costeras", subcategoría 3: "Otras actividades"

La revisión de los datos del medio ambiente será fundamental para poder realizar un modelamiento numérico. Estos serán demandados luego en el programa como "datos de entrada".

CAPÍTULO 4. MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO CORMIX

El objetivo de este capítulo es la evaluación en la zona de mezcla para examinar los cambios en la calidad de agua del medio marino en la bahía de Santa María del Mar causados debido a la descarga del efluente tratado por parte de PROVISUR. Esta comparación se hará con los estándares de calidad de agua (ECA).

4.2. REGULACIÓN DE LA ZONA DE MEZCLA

La zona de regulación de mezcla o más conocida en el mundo de la investigación como *Mixing zone* es un área donde los contaminantes de un punto de descarga son mezclados, generalmente, con agua de mejor calidad. En esta área los contaminantes van a diluirse para llegar a los niveles que establece la ley ambiental para una correcta calidad de agua. Fuera de esta área, los niveles de contaminación deberían tener ya estar debajo de lo permitido.

Las zonas de mezcla son utilizadas por las agencias reguladoras ambientales en Estados Unidos, como una herramienta importante para elaboración de normas de calidad de ajuste alto en agua de ríos, lagos y mares. Incluso con las mejores tecnologías de tratamiento de aguas residuales, los vertidos de efluentes tratados de PTAR a veces contienen bajos niveles de contaminantes.

La zona donde esta descarga de efluente; está autorizada por la autoridad reguladora para mezclarse con el agua (receptor) se denomina: zona de mezcla. El cuerpo receptor diluye el efluente en el punto de descarga, permitiendo así al efluente diluido cumplir los requerimientos regulatorios; luego de recorrer una distancia específica; aguas abajo de la descarga. Sin una zona de mezcla, se podría tener límites de inferior calidad para el cuerpo receptor basado únicamente en las limitaciones actuales de las tecnologías de tratamiento, resultando en un descenso general de las normas de calidad de agua (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1991).

a) REGULACIONES DE ZONA DE MEZCLA EN PERÚ

Debido a las normas de calidad de agua requeridas por ANA para cuerpos receptores del Perú, la zona de mezcla más probable, es aquella que debe exhibir el cumplimiento de los ECA. Sin embargo, aunque el D.S. N° 023-2009-MINAM indica que deben cumplirse ECA más allá de la zona de mezcla aprobada, no existen definiciones ni los procedimientos relativos a los métodos que deben utilizarse para obtener la aprobación de una zona de mezcla; definida de las agencias reguladoras. La Autoridad Nacional de Agua (ANA) define la zona de mezcla como "la zona donde realiza la dilución inicial de la descarga de efluente" (Zapata Arodys & Cabezas David ESSBIO -TUCAPEL, 2004), pero no proporciona ninguna orientación formal respecto al modelamiento de dilución o a los requisitos de las zonas relativas a los vertidos de efluentes tratados en cuerpos de agua de la mezcla. La ANA proporciona alguna documentación sobre los procedimientos administrativos necesarios para la expedición de permisos sobre reutilización y vertido de aguas residuales tratadas, mientras que el Ministerio de medio ambiente (MINAM) simplemente afirma que deben cumplirse ECA más allá de una zona autorizada de mezcla.

b) REGULACIONES DE ZONA DE MEZCLA EN LOS ESTADOS UNIDOS

El Título 40 del código de regulaciones federales de Estados Unidos (parte 131.12A) define una zona de mezcla como "un área limitada o volumen de agua donde tiene lugar la dilución inicial de una descarga y donde pueden superarse los criterios numéricos de calidad de agua, pero deben prevenirse condiciones de toxicidad aguda" (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1991). La Zona Regular de Mezcla (*Regular Mixing Zone* en inglés) se define desde el punto de descarga a la salida del tubo de descarga aguas abajo del punto de vertimiento. El tamaño de la zona de mezcla depende de varios factores, incluyendo la ubicación de la descarga, descarga de concentración, estándares de calidad del agua, tamaño de cuerpo de agua, etc.

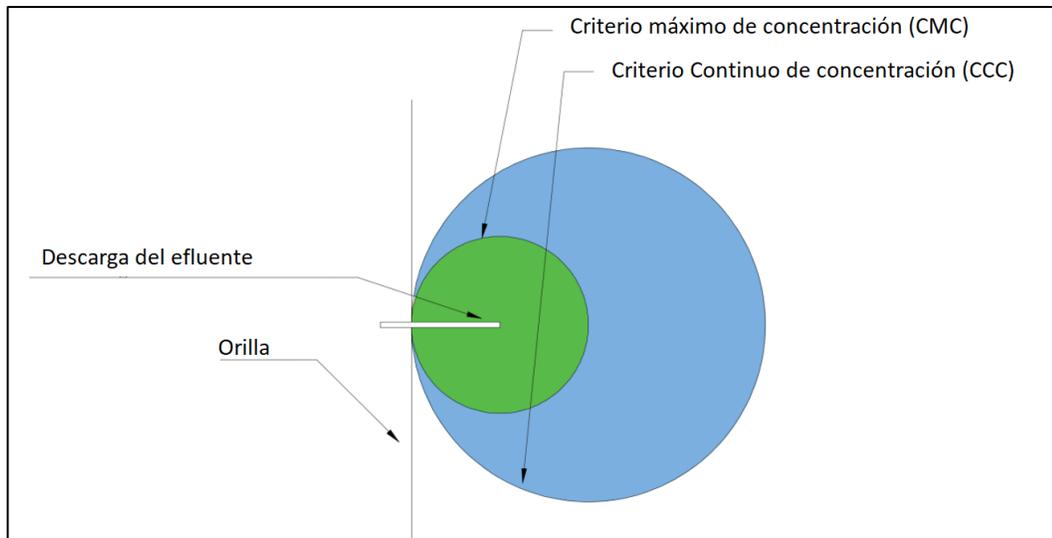


Figura 4.2-1. Esquema de la zona de mezcla (*Fuente: Propia*)

En la Figura 4.2-1 se ve un esquema de cómo se define una zona de mezcla. El Criterio máximo de concentración (CMC) es el estándar de calidad de agua establecido por el EPA. Es similar a los ECA en Perú, pero contiene más sustancias en su evaluación. En esta zona, los parámetros deben cumplir las normas establecidas porque de lo contrario representa un riesgo para la población y para el medio ambiente marino.

El criterio continuo de concentración (CCC) es la recomendación por parte de la EPA para el máximo nivel de contaminantes que puede existir en una zona indefinidamente (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1991).

4.3. SELECCIÓN DE MODELO DE MEZCLA

Cualquier descarga de efluente típicamente se dispersa en las aguas receptoras en dos etapas. La primera etapa es la dilución inicial como el efluente entra en las aguas receptoras cerca de la salida (campo cercano). La segunda etapa es otra dilución más lejos de la salida (campo lejano). La mezcla en el campo cercano; está determinada por la ubicación del emisario, diseño, características de la descarga de efluente y recepción de las características del agua (flotación, velocidad, flujo, etc.) y la mezcla en el campo lejano; está determinada por la dirección y velocidad del viento; profundidad del emisario, y posible presencia de remolinos en las aguas de ambientales (CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS, 2013). Ningún reglamento peruano particular o decreto

supremo indica que se requiere el software de modelado para definir los alcances de la zona de mezcla. No obstante, se ha seleccionado el modelo numérico CORMIX, para evaluar la zona de mezcla resultante de los vertidos de fuente puntual de PTAR de PROVISUR debido a que la agencia reguladora local (ANA) está familiarizada con el software CORMIX y recomienda su uso (Autoridad Nacional del Agua, 2017).

Los datos de entrada en el modelo CORMIX se clasifican en cuatro categorías: identificador de lugar, condiciones ambientales, características de la descarga y los datos de la zona de mezcla. El identificador del lugar; describe el escenario de simulación del modelo. Las condiciones ambientales; incluyen parámetros como profundidad y el ancho, caudal, temperatura y velocidad del viento. Los datos de descarga; incluyen la geometría del efluente en el punto de descarga, ubicación y orientación del puerto de descarga, caudal efluente, concentración y densidad. Los datos de la zona de mezcla; definen la región espacial donde se requieren las características de la mezcla que será emitida por el emisario submarino. En esta sección es donde se puede definir un área para delimitar el CCC.

Los datos de salida desde el modelo CORMIX, detallando las propiedades hidrodinámicas y reglamentación de la zona de mezcla, se pueden presentar en diferentes formatos (gráficas o tabulares) utilizando los distintos módulos de procesamiento disponibles en el modelo para la interpretación de los datos. Los resultados primarios generados por CORMIX son concentraciones de contaminantes a lo largo de la línea central, la anchura y la profundidad de la pluma. El modelo CORMIX típicamente muestra la región de campo cercano (área cerca de la salida de efluente), difusión por flotabilidad ambiental (extensión de la pluma bajo la influencia de la flotabilidad) y mezcla de ambiente pasivo (comportamiento de la pluma ya no es flotabilidad conducida, pero patrones aparecen después de la mezcla vertical completa) (CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS, 2013).

La utilización de CORMIX para simular las diluciones de la concentración en un cuerpo de agua puede hacerse de varias maneras. Un primer método; tiene un enfoque de 'dilución' en donde un rastreo pasivo puede insertarse en la corriente del efluente a una concentración del 100%, en la cual la dilución puede atribuirse simplemente como un porcentaje del original (CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS, 2013). Este método se utiliza principalmente cuando no se tiene consideración específica respecto a algún contaminante. El segundo método; consiste en especificar concentraciones de

efluentes reales para distintos parámetros bajo consideración como, por ejemplo: La demanda biológica de oxígeno (DBO), los coliformes termo tolerantes (CTT), sólidos suspendidos totales (SST), etc. con el fin de predecir las concentraciones de dilución a diferentes distancias aguas abajo de la salida. El resumen de las concentraciones de descarga de la PTAR mezclada con los efluentes de la planta desalinizadora, las condiciones ambientales del medio receptor y los objetivos de calidad de agua se encuentran en la Tabla 4.3-1.

TABLA 4.3-1 Resumen de las concentraciones de descarga de la IDAM y PTAR (ECSA INGENIEROS, 2015)

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE EFLUENTE	CONCENTRACIÓN AMBIENTAL EN MEDIO RECEPTOR	ECA Categoría 2, C1
PH	7.22	7.67	7-8,5
Temperatura (°C)	24.31	16.65	Δ3
Aceites y Grasas (mg/l)	0.28	0.5	1
DBO (mg/l)	4.23	2	-
SST (mg/l)	60.31	7.81	80
Salinidad (ups)	45.87	34.05	-
C.T. (NMP/100ml)	282.16	1.8	14

4.4. MODELO DE ZONA DE MEZCLA

PROVISUR asume la descarga del efluente combinado tratado en el mar del sur de Lima; a través de un único emisario de 719 metros situado en las costas de Santa María. El inicio del emisario submarino se mide desde la ubicación de la planta desalinizadora en las coordenadas 306893 Este 8628436 Norte hasta las coordenadas 306179 Este y 8628137 Norte. Se asume la ubicación de la descarga del emisario lejos de la orilla sur a 90 grados del flujo de ambiental. Según lo muestra la siguiente imagen:



Figura 4.4-1. Inicio y fin del emisario submarino (Fuente: Google Earth)

a) Parámetros Ambientales

Los parámetros ambientales son aquellos que denotan la condición alrededor del ambiente donde estará localizado el emisario submarino. En la Tabla 4.4-1 se puede ver la descripción de los parámetros ingresados al modelo:

Tabla 4.4-1. Parámetros ambientales alrededor del emisario submarino (ECSA INGENIEROS, 2015)

PARÁMETROS AMBIENTALES		
Parámetros	Valor	Unidad
Profundidad Promedio	23.00	m
Profundidad Descarga	20.12	m
Velocidad Corriente	0.05	m/s
Cuerpo de Agua	no limitado	-
Coeficiente de Fricción	0.03	f
Velocidad Viento	2 (1 - 3)	m/s
Densidad	1024.83	kg/m ³

b) Parámetros del Efluente

CORMIX requiere que los vertidos de efluentes se introduzcan en el modelo como valores "exceso por encima de fondo" en lugar de las concentraciones reales en la salida de la descarga. De acuerdo al estudio de ECSA Ingenieros, la concentración de CT en el efluente de agua de la PTAR tratada es 282.16 NMP/100ml con concentraciones en el medio marino de 2 NMP/100ml. Por lo tanto, la concentración de "exceso por encima de fondo" como dato de entrada en CORMIX fue 280 NMP/100ml (282.16 NMP/100ml – 2 NMP/100ml). Todos los valores de concentración deben interpretarse en consecuencia, y los valores de concentración real se calculan sumando los valores de concentración de fondo a los valores predichos. En la Tabla 4.4-2 se puede ver los parámetros del efluente de PROVISUR.

TABLA 4.4-2. Parámetros del efluente(ECSA INGENIEROS, 2015)

PARÁMETROS DEL EFLUENTE		
Parámetros	Valor	Unidad
Flujo en la descarga	0.9866	m ³ /s
Concentración de descarga	280.00	NMP/100 ml
Temperatura	24.31	°C
Densidad	1031.83	kg/m ³

c) Sistema de Descarga

Para el sistema de descarga, los parámetros están representados como las medidas físicas de los difusores del emisario submarino. En la Tabla 4.4-3 se detallan con precisión.

TABLA 4.4-3.Sistema de descarga (ECSA INGENIEROS, 2015)

SISTEMA DE DESCARGAS		
Parámetros	Valor	Unidad
Distancia del primer difusor a la costa (m)	756.9	m
Banco más cercano	Left	-
Distancia del último difusor a la costa (m)	779.4	m
Longitud del difusor (m)	22.5	m
Altura Orificio (m)	1.9	m
Diámetro Orificios (m)	0.147	m
Número Total orificios	10	-
Angulo dirección corriente y eje emisario	90	grados
Angulo entre el difusor y la horizontal	60	grados

d) Zona de Mezcla

Los valores de concentración real se calculan sumando los valores de concentración de fondo a los valores predichos. Por ejemplo, las concentraciones de CT especificadas en ECA son 14 NMP/100ml, mientras que la concentración en el medio marino es 2 NMP/100ml, Por lo tanto, la concentración de "exceso por encima de fondo" de calidad de agua a temperatura ambiente entrada en CORMIX fue de 12 NMP/ 100 ml.

TABLA 4.4-4.Sistema de descarga (ECSA INGENIEROS, 2015)

ZONA DE MEZCLA		
Parámetros	Valor	Unidad
Concentración de calidad de agua	12	NMP/100 ml

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

La hidrodinámica de un efluente que descarga continuamente a un cuerpo receptor marino, en este caso el mar de Santa María, puede ser conceptualizada como un proceso de mezcla que ocurre en la región del campo cercano y campo lejano. En la primera región es caracterizada por su intensa mezcla vertical y por la geometría y boyantes de la salida del chorro. En la región de campo lejano, como la pluma turbulenta se traslada más allá de su fuente, las características de la fuente comienzan a ser menos importantes. Condiciones existentes en el ambiente controlarán la trayectoria y la dilución de la pluma turbulenta a través de los movimientos de expansión de la boyante y difusión pasiva de la pluma.

Para este caso de estudio, se tomaron los contaminantes que no cumplían el ECA al momento de su mezcla inicial con el medio marino que son: Coliformes Termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales y la Demanda Biológica de oxígeno. Además, también se trabajó con la salinidad, aunque esta no presentó una variación muy grande; se realizó la corrida con el modelo; debido a, que es un contaminante que puede afectar bastante al medio receptor.

a) Coliformes Termotolerantes

Las bacterias Coliformes fecales forman parte del total del grupo Coliformes. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ contemplados en las 24 ± 2 horas (Narvaez, Gomez, & Acosta, 2008). La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichiacoli*. (Vargas, 1998). La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el tratamiento terciario en PROVISUR no está removiendo todas las bacterias en su proceso biológico. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Los niveles recomendados de bacterias coliformes fecales son(Rock & Rivera, 2014):

- **Agua potable:** 0 colonias por 100 ml de la muestra de agua.
- **Natación:** menos de 200 colonias por 100 ml de la muestra de agua
- **Navegar/Pescar:** menos de 1,000 colonias por 100 ml de la muestra de agua.

De acuerdo a lo anterior, descargas con 280 NMP/100ml podría presentar problemas si la dispersión se da hacia la costa donde están las playas. En este primer escenario se ha asumido una corriente de una velocidad de 5 cm/s debido a que ésta; es la corriente en promedio obtenida; de acuerdo al estudio oceanográfico realizado por ECSA INGENIEROS en el 2014. En la figura 5-1 puede apreciarse la geometría para la pluma de vertido del efluente empleada en el modelo CORMIX.

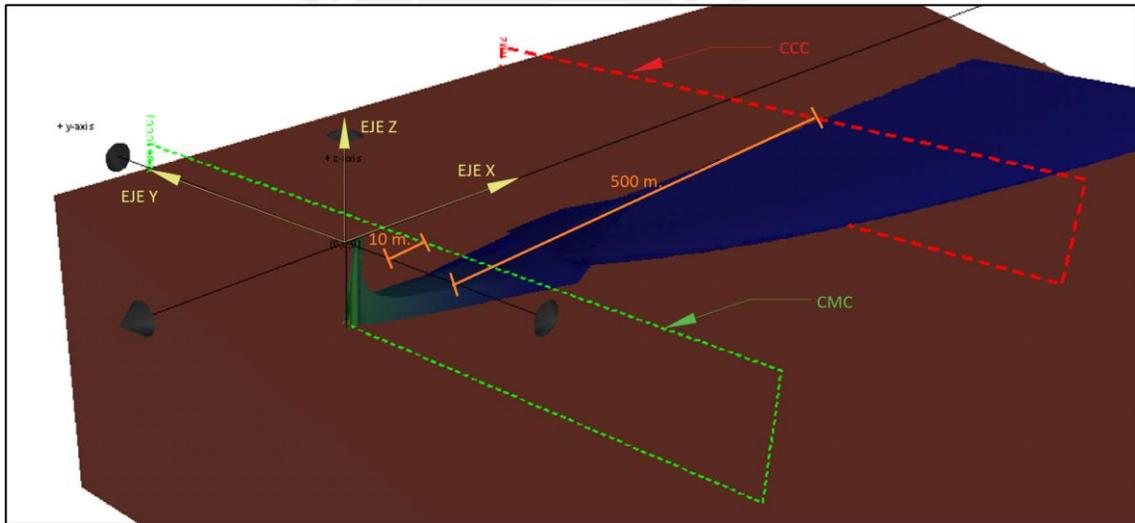


Figura 5-1. Vista 3D de la Pluma (CORMIX, 2016)

En la Figura 5-1 se aprecia el aporte predicho del parámetro de importancia en el medio receptor. El plano definido por el marco con líneas punteadas de color verde corresponde al límite de la zona en que la mezcla es intensa, o zona de campo cercano (CMC), y más allá de este plano está la zona de campo lejano (CCC). Se aprecia el comportamiento cónico de la pluma, con una importante dilución en el plano horizontal. Las líneas

punteadas verdes son cuando el parámetro de los Coliformes Termotolerantes llega a los niveles demandados por el ECA. Esto se puede visualizar mejor en la figura 5-2.

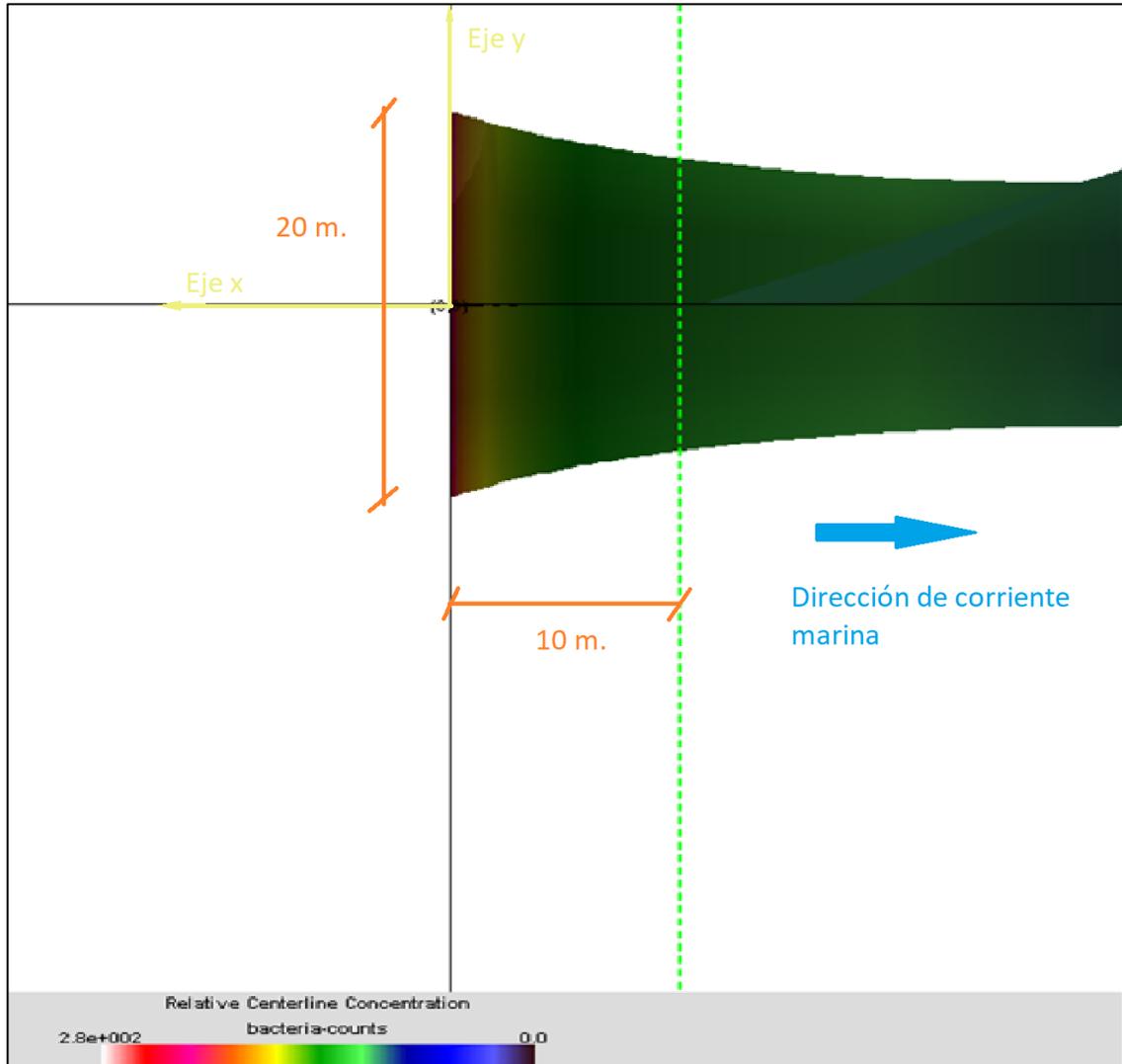


Figura 5-2. Vista en planta de la Pluma (CORMIX, 2016)

La concentración de los Coliformes Termotolerantes disminuye rápidamente por lo que en menos de 10 metros en dirección al eje X ya se encontraría en el rango de los parámetros de la ECA como se observa en la Figura 5-3.

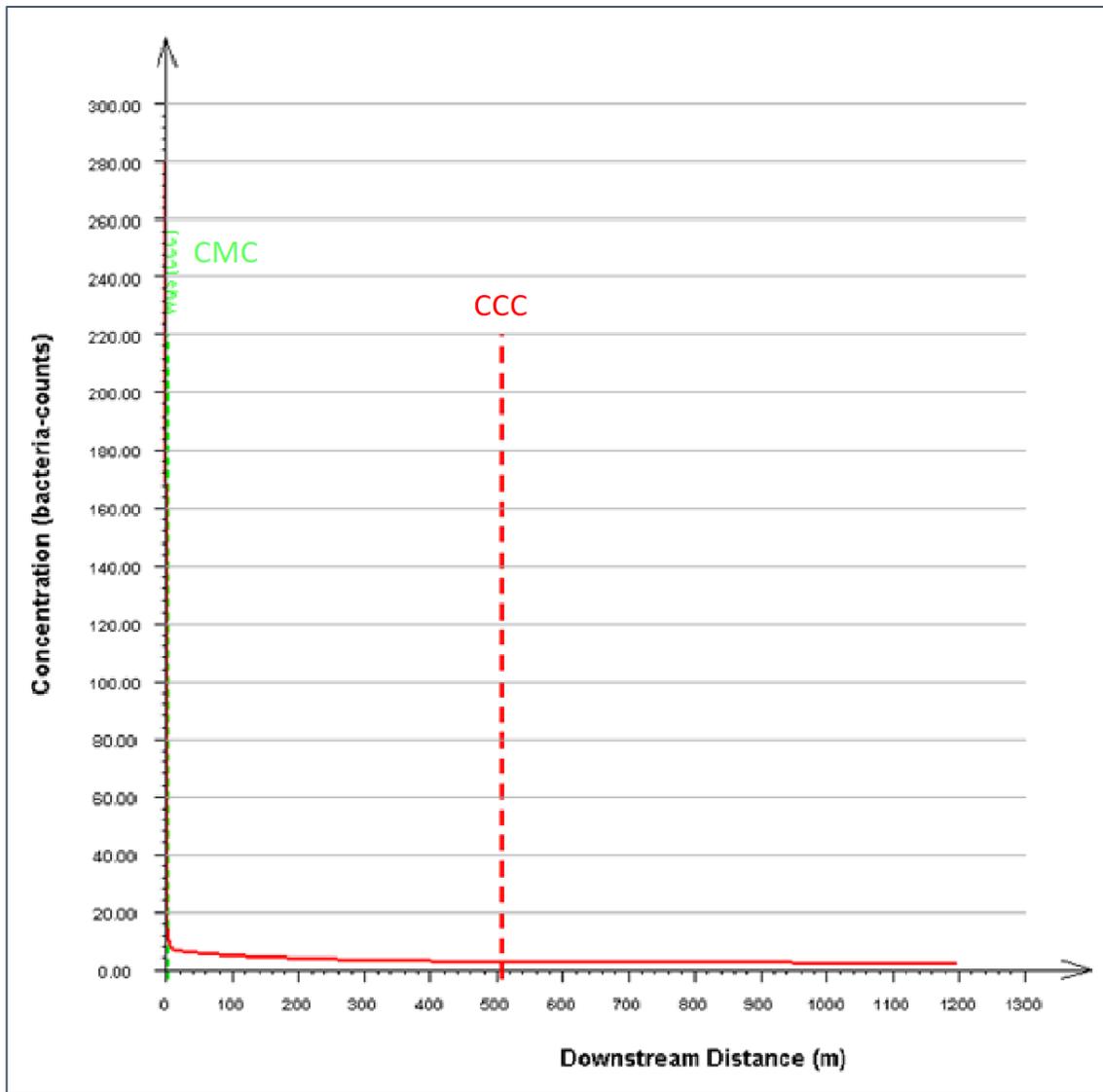


Figura 5-3. Concentración vs Distancia con dirección de corriente (CORMIX, 2016)

Para otras condiciones donde se asume una velocidad de corriente marina de 1 cm/s y una velocidad de viento de 0.5 m/s la pluma recorre mayor distancia para llevar a las concentraciones demandadas por el ECA.

Los resultados finales se muestran en la Tabla 5-1. Se realizaron modelaciones para los Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Suspensión de Sólidos Totales debido a que las concentraciones iniciales eran superiores a los Estándares de Calidad de Agua.

TABLA 5-1. Resultados finales de modelamiento en Cormix (CORMIX, 2016)

N°	Profundidad (m)	Dilución (l)	Desp. en X (m)	Desp. en Y (m)	CT (NMP/100)	SST (mg/l)	DBO (mg/l)
0	18.22	1.0	0.00	0.0	282.00	60.31	4.23
1	18.20	6.5	0.22	0.0	45.20	15.92	2.34
2	18.16	10.5	0.68	0.0	28.70	12.82	2.21
3	18.08	16.0	1.69	0.0	19.50	11.09	2.14
4	17.90	23.9	3.94	0.0	13.70	10.01	2.09
5	17.49	35.4	8.89	0.0	9.91	9.29	2.06
6	20.11	40.9	18.08	0.0	8.85	9.09	2.05
7	20.11	42.4	27.18	0.0	8.60	9.05	2.05
8	20.11	42.8	29.46	0.0	8.55	9.04	2.05

b) Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los Sólidos Suspendidos Totales o simplemente SST, están relacionado a todo aquello que podemos encontrar suspendido o en la superficie de una muestra, muchas veces relacionado a la turbidez.

Los sólidos suspendidos son aquellos que son visibles en las aguas residuales. Estos, por lo general, flotan entre la superficie y en el fondo. Los SST, son una fracción de los sólidos totales. La principal naturaleza de estos residuos es orgánica incluyendo materiales como papel, trapos, entre otros. (Metcalf & Eddy, 2003)

Para este parámetro, se tiene una concentración inicial de 60 mg/l donde esta está debajo de los rangos permitidos de ECA 2, que establece un parámetro de 80 mg/l. No obstante, una mejor apariencia de las zonas de emisión necesitará niveles más bajos de sólidos suspendidos totales por lo que es importante la modelación de este parámetro (ver Figura 5-4).

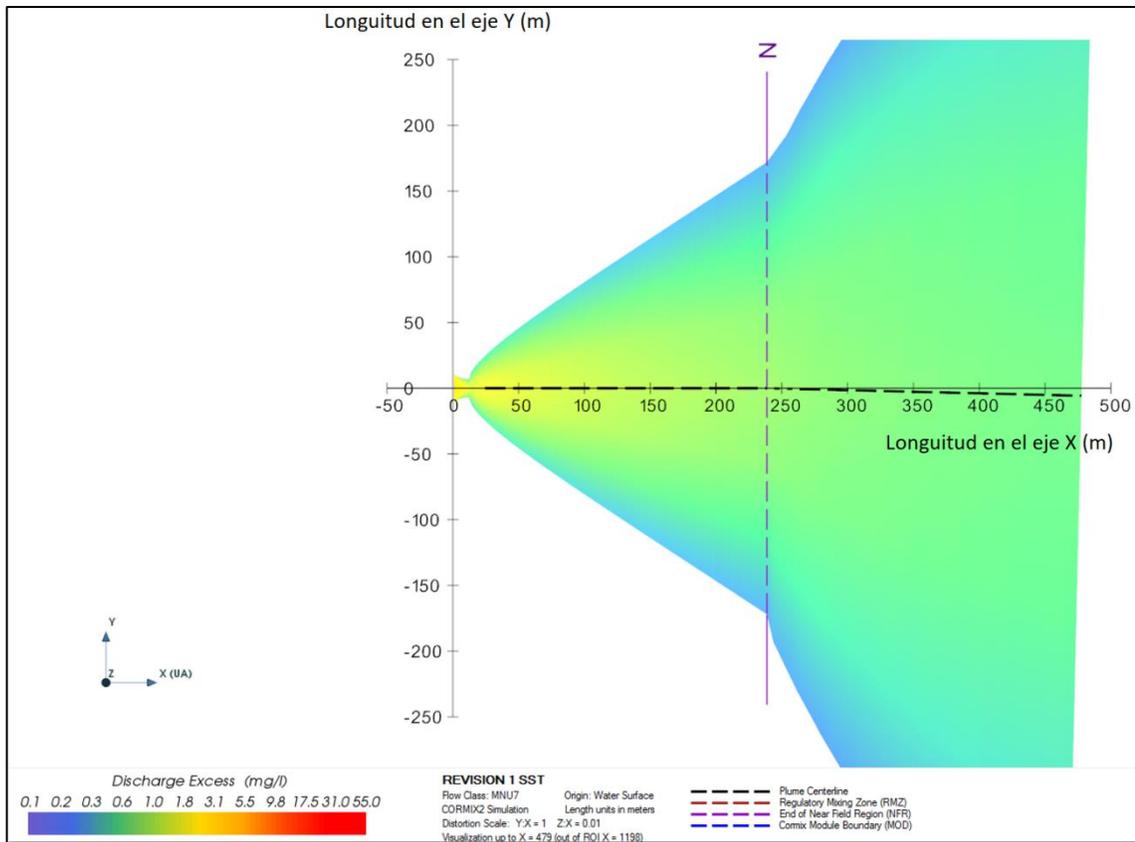


Figura 5-3. Vista en planta de la Pluma de SST (CORMIX, 2016)

En la pluma se puede apreciar que no existe un exceso de concentración de SST con respecto a lo establecido a la norma ECA 2 donde una concentración mayor es representada por el color amarillo. A medida que aumenta la distancia respecto a la boquilla de emisión, la concentración disminuye considerablemente hasta llegar a los parámetros ambientales.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente estudio ha permitido apreciar la situación actual del abastecimiento del agua, la problemática y soluciones frente a la escasez de este valioso recurso, así como la gestión del tratamiento de las aguas residuales en el Perú. Es preocupante el panorama que se está pensando dejar a las futuras generaciones si se mantienen estas condiciones.

Son notorios los impactos ambientales negativos originados por las plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima y provincias. Mega proyectos como Taboada, en Lima, que evacuan las aguas residuales al mar empleando un emisario submarino luego de un pre tratamiento-tratamiento primario no parece ser la solución más adecuada.

Sin embargo, no obstante que se exige como mínimo el tratamiento primario y el cumplimiento de los ECA en las PTARS que descarguen efluentes al mar (D.S. N° 002-2008-MINAM y D.S. N° 023-2009-MINAM) también es necesario cumplir con el D.S. N° 0220-2009-VIVIENDA que exige que para mantener la calidad del cuerpo receptor es necesario el empleo de mili tamices 0.25 mm a 6 mm aspecto que parece ser omitido en la mayoría de los casos. El cumplimiento de esta norma evitará afectar el aspecto estético pues la materia flotante en su mayoría debe ser removida en la PTAR y así no llegaría al mar.

Una solución más adecuada para mitigar el impacto ambiental sería cambiar la exigencia de vertimiento de efluentes solo cuando las PTAR utilicen un proceso de las tres etapas. Si bien es cierto, que el océano es considerado matemáticamente como un medio infinito contra los vertidos de los efluentes submarinos, existe contaminación local que afecta a las playas o a la población marina.

En el proyecto de PROVISUR su modelamiento refleja un valor de 282.16 NPM / 100ml de Coliformes Totales, si nos atenemos a lo indicado en el ECA categoría 4 categoría 3 ecosistemas marino costeros donde el valor exigido es menor o igual a 30 NMP /100ml. o peor aun siguiendo el ECA categoría 2 actividades marino costeras este LMP es menor o igual a 14 NMP / 100ml. Obviamente hay una trasgresión a este requerimiento a menos que se extienda la longitud del emisario submarino y alcanzar las corrientes principales en mar abierto.

La construcción de un nuevo proyecto de PTAR en Santa María que está diseñado solo para cumplir los decretos que propone el país, podría conducir a una mayor contaminación del medio marino. Debe ser evaluada con cuidado la longitud del emisario submarino que descarga el efluente al mar. Se señala que tendrá una extensión de 719m de longitud desde la salida de la nueva PTAR.

El Informe Técnico N° 808-2015-ANA-DGCRH-EEIGA, establece que, para la autorización de vertimientos de aguas residuales al mar, el proyecto debe cumplir con el Reglamento de La Ley de Recursos Hídricos, Artículo 171.2. No obstante, en la Ley de Recursos Hídricos, el artículo 170° es la que menciona el Vertimiento de salmuera y cumplimiento de normas.

“Los efluentes líquidos y salmueras provenientes de plantas desalinizadoras comprenden las aguas de salmuera, las aguas de lavados de filtros de arena, los residuos de productos de limpieza de las membranas y los residuos de aditivos provenientes del pre y post tratamiento del agua de mar captada.”

(Ley de Recursos Hídricos D.S. N° 001-2010-AG).

Aquí se refiere la norma expresamente a los efluentes de Plantas Desalinizadoras, no mencionando la calidad de los efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residual.

Además, en el artículo 170.2° de La Ley de Recursos Hídricos, además de lo señalado en el párrafo en cursiva y como se mencionó anteriormente, en el último ECA del año 2017, para la categoría 2, no se señala cuanto podría ser el límite máximo de la concentración de la salinidad (medida en concentración PSU) que se puede verter al mar.

En el D.S. N° 031-2014-MINAM se indican los límites máximos permisibles (LMP) algunos parámetros como pH, temperatura, concentraciones grasa y aceites, sólidos totales y Coliformes son referidos (Anexo 1, D.S. N° 031-2014-MINAM) pero tampoco se señala la variación de la salinidad siendo este parámetro muy importante de establecer en la zona de mezcla y sobre todo en el campo cercano.

En las normas internacionales este parámetro ha sido ya determinado con valores establecidos para la variación de salinidad por ejemplo menor o igual a 1UPS en Japón, menor o igual a 4 UPS en EEUU.

El Estudio de Impacto Ambiental del proyecto PROVISUR frente a este tema establece que lograrán una dilución de 1:50 en el efluente combinado juntando las aguas tratadas residuales de la PTAR con el efluente de la IDAM (salmuera). En ninguna parte del estudio se aprecia cómo lo lograrán. El modelamiento efectuado establece una concentración de la salinidad de 38 psu señalando que las condiciones de mar en dicha zona tienen una salinidad de 36 psu, el gradiente de salinidad de 4 psu se encuentra en el límite comparado con las normas internacionales de Estados Unidos o España.

De las investigaciones efectuadas se hace muy necesario e importante definir una zona de mezcla. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la zona de mezcla es una región limitada alrededor de la sección del difusor marino de descarga del emisario submarino. El propósito de esta zona de mezcla es asignar una región limitada para la mezcla completa del efluente con el agua de mar. El impacto ambiental en esta zona de mezcla es permanente.

Como tal, la zona de mezcla no es tan solo una zona para cumplimiento de las normas. Normalmente rodea un volumen que se extiende de 50 a 600 metros en todos los lados de la zona inicial de descarga donde empieza la dilución. Los estándares de la zona de mezcla están generalmente limitados a variables de calidad del agua para protección de toxicidad aguda (usualmente determinada a través de bioensayos) y para minimizar los impactos visuales.

Los estándares de organismos para los coliformes normalmente no se imponen en la zona de mezcla a menos que el difusor esté localizado muy cerca a áreas de extracción de mariscos o a aguas de uso recreacional. Tales estándares no se aplican usualmente a DBO, a oxígeno disuelto ni a nutrientes (Salas, 2015). Esto es una regulación muy importante siempre y cuando se salga de la influencia de estuario marino costero y se esté en mar abierto.

La Ley de Recursos Hídricos señala respetar los ECAS para descarga de efluentes, sin embargo, los ECAS no mencionan que, dentro de la zona de mezcla, los parámetros a revisar deberían ser tratados como un caso especial y más aún si la zona de difusión está cerca de la bahía de Santa María. Son pertinentes entonces establecer los LMP con mayor detalle teniendo cuidado con la presencia de metales, biosidas, órgano-Siliconas, hidrocarburos, cianuro y fluoruros, detergentes, fosforo y nitrógeno, microorganismos patógenos, polución térmica, desechos radioactivos, DBO5, grasas y aceites

(HIRSHFELD-FLORES & SCHILDKRAUT, 1999) como hiciéramos referencia cuando se habló de emisario submarino en la sección 2.5.1. de este estudio.

La exigencia del cuidadoso diseño del emisario submarino en conjunción con el estudio hidro-oceanográfico y el modelamiento es más que nunca requerida para una apropiada mitigación del Impacto Ambiental.

Debido a esta todavía omisión que presenta nuestra normativa, las empresas que diseñan y ejecutan estos proyectos, podrían tomar ventaja y reducir sus costos del proyecto, ya que no es necesario aumentar la distancia del emisario pues es muy fácil cumplir los ECAS sin una definición más precisa de una zona de mezcla en el modelo numérico que además de los ECAS también tenga en cuenta los LMP y las condiciones hidrodinámicas establecidas en el modelamiento de campo cercano, caso contrario este vacío normativo dará ventaja a las empresas extranjeras en el País, caso que no ocurriría si se ciñeran a las regulaciones establecidas en las normas americanas o europeas donde si se considera y exige una verdadera zona de mezcla.

De acuerdo a los datos obtenidos, la información respecto a la dispersión de los Coliformes Termotolerantes en un escenario donde la velocidad de la corriente es 5 m/s y perpendicular al difusor, los resultados obtenidos con el modelamiento de CORMIX son muy parecidos al informe de ECSA ingenieros donde utilizaron VISUAL PLUMES.

Para CORMIX, se tuvo que a 3,71 metros del difusor la dilución de los Coliformes estará dentro de los parámetros del ECA. Mientras que VISUAL PLUMES lo muestra para 3.8 metros aproximadamente. No obstante, no hay estudios para corrientes con poca velocidad, con ángulos agudos entre la corriente y el emisario o con velocidades nulas en el viento. Se modeló un escenario donde la velocidad de la corriente fue de 1m/s y sin viento y se obtuvo que los Coliformes alcanzaron los niveles permitidos por el ECA en 7.54 metros. Se realizó otra modelación con una velocidad de corriente nula y se obtuvo que los Coliformes alcanzaron los niveles permitidos por el ECA en 8.9 metros. Estos datos originaran una variación cuando se consideren condiciones más reales y extremas.

Los SST y DBO se encuentran debajo de los valores máximos permitidos del ECA categoría 2, y los valores y distancias de dilución son muy parecidos al modelamiento efectuado en VISUAL PLUMES. Es necesario mencionar que el modelo fue aplicado sin

una zona de mezcla, algo que no recomienda hace en el software CORMIX. Esta zona de mezcla no ha sido definida debido a que se ha querido simular el escenario más real que contempla la normativa peruana. Sin embargo, si se hubiera definido una zona de mezcla los parámetros hubieran sido diferentes y por ello, probablemente, no hubiera cumplido con una normativa americana.

El programa CORMIX, al finalizar la corrida del modelo recomienda lo siguiente:

El difusor debe estar ubicado lo más lejano posible de la costa alcanzando las corrientes principales para que la pluma de vertimiento pueda efectuar su dispersión sin regresar al sector de costa y así no ser transportada a la bahía. Además, mejoraría la dilución en el campo cercano.

En cuanto al sistema de dispersión, el ángulo de las boquillas podría variar para obtener una mejor dispersión y que llegue mejor a la corriente, para esto se tendría que simular el modelamiento numérico con varias iteraciones para llegar a la del mejor resultado. Un diámetro pequeño de los emisores implica una velocidad de descarga elevada, que maximizará la mezcla encampo cercano. Sin embargo, tampoco pueden ser muy elevadas porque pueden inducir configuraciones de flujo inestables en campo cercano.

Las velocidades de descarga en diseños ingenieriles típicos pueden estar en el rango de entre 2 y 8 m/s. Velocidades menores a 0.5 m/s pueden ocasionar acumulaciones de sedimentos no deseables en el interior de la tubería de descarga. La altura de las bocas de descarga puede ser importante para descargas con flotabilidad negativa (salmuera), ya que puede controlar la cantidad de mezcla inicial antes del impacto bentónico. Cuando el flujo es transversal, la altura de la boca tiene influencia sobre la estabilidad de la descarga. Es necesario un estudio de transporte de sedimentos antes de seleccionar la altura y orientación de las bocas de descarga para que no queden obstruidas.

Sobre la profundidad de descarga, es importante que se haga a una profundidad mayor a 20 metros o más debido a que existe una estratificación significativa en la columna de agua marina, especialmente durante los meses de verano. Donde exista suficiente estratificación de densidad, la pluma no subirá a la superficie del mar, pero permanecerá sumergida.

Respecto al impacto estético, la evaluación de este impacto está relacionado a la posible presencia de decoloración en las aguas, problemas de olor, presencia de materia flotante. La presencia de estos parámetros con valores de 2 mg/l de DBO y SST logra que sean insignificantes y no haya un impacto de este tipo.

Finalmente es necesario e importante realizar mayores estudios en el campo cercano, para determinar si es que no se afectaran la dispersión de estos contaminantes al ecosistema marino de las playas del Sur. Luego de esto, será necesario evaluar apropiadamente la longitud el emisario submarino y el diseño del tramo difusor.



REFERENCIAS

- Arce, F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles : Descentralización del tratamiento de aguas residuales*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4568/ARCE_LUIS_AGUAS_RESIDUALES_RESIDENCIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arreguín Cortés, F., Martín Domínguez, A., Arreguin, F., & Martín-Domínguez, A. (2000). Desalinización del agua. *Ingeniería Hidráulica En México (0186-4076)*, 15(1). Retrieved from <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/720>
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *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*. Lima.
- Carranza, C.C., D. M. M. y C. L. R. (2004). Impacto ambiental en sedimentos marinos superficiales por residuos líquidos industriales y urbanos. *Revista Del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(14), 15–22.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS. (2013). *DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DEL SOFTWARE CORMIX*. Retrieved from http://www.medvsa.es/PDF/CORMIX_GENERAL.pdf
- Chacón, F. F., Martín-Rosales, W., & Manuel, L.-C. (2008). *Environmental impact evaluation in abandoned mining sites using chemometric tools*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/303975088>
- Clido, J., Nieto, J., Ponce, S., Rodríguez, J., & Solís, J. (2001). *REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA MEDIANTE IRRADIACIÓN SOLAR*. Lima. Retrieved from [http://dspace.ipen.gob.pe/bitstream/ipen/368/1/_184-191_Arsenico CLIDO - NIETO - PONCE - RODRIGUEZ_r1_.pdf](http://dspace.ipen.gob.pe/bitstream/ipen/368/1/_184-191_Arsenico_CLIDO_NIETO_PONCE_RODRIGUEZ_r1_.pdf)
- Cortés, F. I. A., Moeller, G., Violeta, C., Estrada, E., & Hernández, A. R. (2015). El Reuso Del Agua En México, (November).
- Cortés, M. T. (1998). Certezas e incertidumbres sobre la hipótesis del cambio climático por efecto invernadero y sus posibles consecuencias en la Península Ibérica. ... , *Nº 20, 1998; Pp. 63-97, 63–97*. Retrieved from

<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/422>

- Dévora, G. E., Enríquez, R. G., & Fernández, N. E. P. (2005). *TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO* (Vol. 8). Universidad Autónoma Indígena de México. Retrieved from <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=46123333006>
- Dévora Isiordia, Germán E.; González Enríquez, Rodrigo; Ponce Fernández, N. E. (2012). TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO. *Ra Ximhai*, 8(2), 57–68. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46123333006>
- ECOWATER. (2010). SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA. Retrieved August 8, 2018, from <http://ecowateryucatan.com.mx/>
- ECSA INGENIEROS. (2015). *Estudio de impacto ambiental detallado “Proyecto PROVISUR.”*
- ENZICLEAN. (2009). TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES LAS AGUAS NEGRAS. Retrieved August 8, 2018, from <https://enziclean.com/>
- Fernández Torquemada, Y., Miguel González Correa, J., Carratalá Giménez, A., & Lizaso Sánchez, J. (2011). *MEDIDAS DE ATENUACIÓN DEL POSIBLE IMPACTO AMBIENTAL DEL VERTIDO DE LAS DESALADORAS DE OSMOSIS INVERSA: EL EJEMPLO DE JÁVEA (ALICANTE)*. Alicante. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42964246/Medidas_de_atenuacin_del_posible_impacto20160223-14689-a3l9jx.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1533917721&Signature=Evxh%2B%2Fm3c3LpH6XIfLNx3xwDKM%3D&response-content-disposition=inl
- Gacia, E., & Ballesteros, E. (2014). *El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas*. Retrieved from <http://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/wp-content/uploads/2014/05/EI-impacto-de-las-plantas-desaladoras-en-el-medio-marino.-La-salmuera-en-las-comunidades.pdf>
- George, C. M., Sima, L., Helena, M., Arias, J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., ... Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in

- Peru. *Bull World Health Organ*. <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>
- GESTION. (2014). Así será el proyecto Provisur. Retrieved August 8, 2018, from <https://gestion.pe/economia/sera-proyecto-provisur-59814>
- Hillel, D. (2000). *Salinity Management for Sustainable Irrigation*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-4773-X>
- HIRSHFELD-FLORES, A., & SCHILDKRAUT, J. J. (1999). Eminent Creativity, Everyday Creativity, and Health. *American Journal of Psychiatry*. <https://doi.org/10.1176/ajp.156.12.2012>
- INSTITUO NACIONAL DE HIDRAULICA. (2010). *MODELOS MATEMÁTICOS HIDRODINÁMICOS DE CALIDAD DE AGUAS*. Retrieved from <http://oirs.mop.gov.cl/>
- Jenkins, S., Roberts, P., & Weis, J. (2012). Management of Brine Discharges to Coastal Waters ; Recommendations of a Science Advisory Panel Management of Brine Discharges to Coastal Waters Recommendations of a Science Advisory Panel Prepared for : The State Water Resources Control Board, (November 2016).
- Knauth, L. P. (2005). Temperature and salinity history of the Precambrian ocean: implications for the course of microbial evolution. *Geobiology: Objectives, Concepts, Perspectives*, 53–69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52019-7.50007-3>
- Larios-Meño, J. F., González, C., & Olivares, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista Saber y Hacer. Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(2311–7613), 09-25. Retrieved from <http://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- Le-Clech, P., Chen, V., & Fane, T. A. G. (2006). Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 284(1–2), 17–53. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2006.08.019>
- Lu, Z., & Xu, L. (2013). *FREEZING DESALINATION PROCESS*. Retrieved from <http://www.desware.net/sample-chapters/d04/d08-063.pdf>
- Meca, S., & Martinez, X. (2012). *Gestión de salmueras en la industria agroalimentaria*.

Retrieved from <http://life-zelda.eu/en>.

MEDVSA. (2012a). *DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS DEL SOFTWARE VISUAL PLUMES*. Retrieved from [http://www.medvsa.es/PDF/VISUAL PLUMES.pdf](http://www.medvsa.es/PDF/VISUAL_PLUMES.pdf)

MEDVSA. (2012b). *MODELO JETLAG DEL SOFTWARE VISJET*. Retrieved from <http://www.medvsa.es/PDF/JETLAG.pdf>

MEDVSA. (2012c). *SUBSISTEMA CORMIX 1*. Retrieved from <http://www.medvsa.es/PDF/CORMIX1.pdf>

Metcalf, E., & Eddy, M. (2014). (2014). *Wastewater engineering: treatment and Resource recovery*. Mic Graw-Hill.

Mier, M. del P., Ibáñez, R., Ortiz Uribe, I., & Rivero Martínez, M. J. (2004). *Electrodiálisis con membranas bipolares*. *Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N.º. 418, 2004, págs. 166-182*. [Ingeniería Química, S.A.]. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1066023>

MINAM. (2010). *NORMAS LEGALES AMBIENTE Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Retrieved from http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

MINAM. (2015). MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Retrieved August 8, 2018, from <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>

Narvaez, S., Gomez, J., & Acosta, J. (2008). *Acta biológica colombiana. Acta Biológica Colombiana* (Vol. 13). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/3190/319028004009/>

OMS. (2013). OMS | El uso de aguas residuales. *WHO*. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/

Palomar Herrero, P. (2010). *Metodología para el diseño de vertidos de Salmuera de las*

- plantas desaladoras*. Retrieved from
http://www.conama.vsf.es/conama10/download/files/conama/CT_2010/41025.pdf
- Palomar Herrero, P. (2014). Optimización experimental y numérica de vertidos hipersalinos en el medio marino. Retrieved from
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/5017>
- Pereyra, G. (2016, March 22). Día Mundial del Agua: ¿Qué tan potable es el agua de caño? | El Comercio | Perú | Apurímac | El Comercio Perú. Retrieved from
<https://elcomercio.pe/peru/apurimac/dia-mundial-agua-potable-agua-cano-174852>
- Ramalho, R. S. (Rubens S., Jiménez Beltrán, D., & Lora, F. de. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté. Retrieved from
https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=aguas+residuales&ots=OCsbERjEma&sig=1YZDQ1V9M0H1RGyWdxQV1_z4bll#v=onepage&q=aguas+residuales&f=false
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). *¿Qué es La Calidad del Agua?* Retrieved from
<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Sánchez-Lizaso, J. L., Romero, J., Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J. L., Invers, O., ... Manzanera, M. (2008). Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221(1–3), 602–607.
<https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2007.01.119>
- Sotto Díaz, A. (2009). Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. Retrieved from
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=91270>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1991). *EPA Technical Support Document For Water Quality-based Toxics Control*. Retrieved from
<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0264.pdf>
- Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas., J. A. C. L. A. G. M. F. C. R. H., & Universidad Autónoma de Baja California. Unidad de Ciencias Marinas. (1994). *Ciencias marinas. Ciencias Marinas* (Vol. 20). Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de

Baja California. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/480/48020303/>

Vergara, A., Jugo, M., Miyashiro, M., Barrera Guzmán, W., & Palacio, M. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de Servicio de Saneamiento*. Retrieved from www.proagua.org.pe

Zapata Arodys, L., & Cabezas David ESSBIO -TUCAPEL, G. S. (2004). *EL EMISARIO SUBMARINO COMO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS*. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01246e09.pdf>

