UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de mejoramiento de capacidad hidráulica del emisor submarino de
la PTAR La Chira mediante el uso del coeficiente de contracción de las
válvulas de retención tipo Duckbill en el tramo difusor

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Igarza Sanchez, Kiara Pierina (0000-0002-8652-4897)

Oscorima Celis, Jean Miguel (0000-0002-2158-2738)

ASESOR

Collas Chavez, Manuel Elias (0000-0003-4405-1486)

Lima, 10 de diciembre de 2020

DEDICATORIA

Dedicamos la investigación a todas las personas que nos han ayudado directa e indirectamente para poder alcanzar nuestras metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) y al Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) por brindarnos la información necesaria para poder realizar la investigación de una manera satisfactoria. También, damos las gracias a todos nuestros familiares que nos brindaron su apoyo incondicional para poder realizar satisfactoriamente el proyecto de tesis. Por último, a nuestro asesor Manuel Elías Collas Chávez por brindarnos su valiosa opinión, consejos acertados y su apoyo en todo momento en la realización del proyecto de tesis. Además, la reflexión de la ingeniera Susan Saravia de la Cruz, el ingeniero Miguel Sanchez Anderson por su valiosa colaboración y de manera muy especial en memoria del magnífico profesor David Maldonado Carrasco.

RESUMEN

Los emisores submarinos son preferibles para la descarga de aguas residuales domésticas tratadas, debido a la capacidad de asimilación del mar como una opción más económica. Si se eligen los sistemas de salida al mar, la ubicación es fundamental para evitar el retorno de las aguas residuales a la zona costera y la recuperación del ecosistema marino. Sobre la base de la regulación del control de descarga de efluentes que exige la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de la República Democrática del Perú, la concentración de bacterias debe estar por debajo de un cierto valor en el área protegida. Esta tesis está basada en el método de investigación aplicativo, debido a que en el Perú no existe mucha información científica con respecto a los emisores submarinos. Por ello, esta investigación busca aumentar información científica de tal modo que para los siguientes proyectos que tengan que ver con emisores submarinos sean más eficientes a nivel hidráulico. Por otra parte, los efectos principales que influyen en la dilución son las corrientes costeras generadas por el viento y el transporte de aguas residuales en regiones costeras abiertas, como se encuentra en La Chira. Las predicciones del modelo de dispersión son precisas si cuentan con las características físicas del emisor submarino, del efluente y del océano, ya que nos brindan una perspectiva clara para la planificación del emisor submarino. En este estudio, se compara el caudal de diseño con el método de crecimiento geométrico, el cual es recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el caudal real del proyecto, donde se verifica que ambos caudales se aproximan. También, se verificó la capacidad hidráulica del emisor submarino para identificar las pérdidas de cargas totales que se producen a lo largo de todo el emisor. Además, el Visual Plumes, el cual es un software que genera modelos de dispersión de efluente en un cuerpo de agua, se utilizó para la dilución de campo cercano y la dilución de campo lejano del contaminante. Los resultados del modelo de dilución de campo cercano y de campo lejano muestran que el emisor submarino de La Chira cumple con las regulaciones legales ambientales.

Palabras clave: Emisor submarino, difusores, aguas residuales, pérdida de carga.

Proposal to improve hydraulic capacity of submarine outfalls of La Chira's WWTP using contraction coefficient of Duckbill type check valves in diffuser zone

ABSTRACT

The submarine outfalls are the preferred solution for discharging treated domestic wastewaters due to the ocean's assimilative capacity, as a cheaper option. If the exit systems to the sea are chosen, location is key to avoid the return of the wastewaters to the coastal area and for the marine ecosystem restoration. According to the effluent discharge control regulations dictated by the National Water Authority (Autoridad Nacional del Agua, ANA) of the Republic of Peru, the bacteria concentration level must be under a certain level in the protected area. This thesis is based on the applied research methodology, since there is not much scientific information available regarding submarine outfalls in Peru. For this reason, this research seeks to increase the scientific information so that the next projects involving submarine outfalls are more efficient in hydraulically. In the other hand, the main effects impacting dilution are coastal currents generated by the wind and the wastewaters flow into open coastal regions, as found in La Chira. The dispersion model predictions are accurate if they have the physical characteristics of the submarine outfall, the effluent and the ocean, since they provide a clear perspective for the submarine outfall planning. In this study, we compared the design flow rate with the geometric increase method recommended by the World Health Organization (WHO) with the real flow rate of the project, and it was verified that both flow rates are similar. Also, the submarine outfall hydraulic capacity was verified to identify the losses of total loads produced throughout the outfall. Furthermore, the Visual Plumes, a software that generates dispersion models of effluents in body of water, was used for the near-field and far-field dilutions of the contaminant. The results of near-field and far-field dilutions model show that the submarine outfall of La Chira meets the legal environmental regulations.

Keywords: Underwater outfall, diffusers, wastewater, head loss.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
EL PROBLEMA.....	1
ESTADO DE ARTE	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	8
Hipótesis	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos.....	9
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	9
1 MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 ENTIDADES RELACIONADAS CON LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR).....	11
1.2 PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	11
1.3 EMISOR SUBMARINO.....	12
1.3.1 Difusor Submarino	13
1.4 DISPOSICIONES AMBIENTALES	14
1.4.1 Valores máximos admisibles	14
1.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS DESCARGAS.....	16
1.5.1 Descargas superficiales.....	16
1.5.2 Descargas sumergidas.....	17
1.6 PROCESOS DE DILUCIÓN.....	19
1.6.1 Dilución Inicial	20
1.6.2 Dilución por inactivación bacteriana.....	22
1.6.3 Dilución por dispersión horizontal	23
1.6.4 Dilución total	24
1.7 TIPOS DE AGUAS DESCARGADAS	25
1.7.1 Origen de las aguas residuales domésticas	26
1.7.2 Origen de las aguas residuales industriales	26
1.8 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES.....	27
1.8.1 Batimetría	27
1.8.2 Datos Oceanográficos.....	28

1.8.2.1	Salinidad	28
1.8.2.2	Temperatura.....	29
1.9	CAPACIDAD HIDRÁULICA.....	31
1.9.1	Pérdida de carga total por fricción.....	31
1.9.1.1	Pérdida de carga lineal.....	31
1.9.1.2	Perdidas de carga singulares.....	34
1.9.1.2.1	En la salida del depósito	34
1.9.1.2.2	En la derivación.....	35
1.9.1.2.3	En el codo	35
1.9.1.3	Pérdida de carga en el difusor.....	36
1.9.1.4	Pérdida de carga en el vertedero.....	38
1.9.1.5	Pérdida por diferencia de densidad.....	39
1.9.1.6	Pérdida por diferencia de mareas.....	39
1.9.2	Tuberías de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	40
1.9.3	Eje hidráulico.....	42
1.9.4	Configuración	43
1.9.5	Calibración	43
1.10	MEDIOS TECNOLÓGICOS PARA DESARROLLAR LA INVESTIGACIÓN.....	43
1.10.1	Software Visual Plumes	43
1.10.1.1	Descripción del modelo UM3 para vertidos mediante chorro individual	43
1.10.1.1.1	Variables axiales de UM3.....	45
1.10.1.1.2	Ecuaciones de Gobierno.....	47
1.10.1.1.3	Ecuaciones de Cierre para los términos turbulentos	48
1.10.1.2	Componentes y opciones del modelo	49
1.10.1.3	Análisis de sensibilidad del modelo frente a variaciones en los parámetros de entrada.....	51
2	METODOLOGÍA.....	53
2.1	MATERIAL	53
2.1.1	Población	53
2.1.2	Muestra	56

2.2	MÉTODO	59
2.2.1	Nivel de Investigación	59
2.2.2	Diseño de Investigación.....	60
2.2.3	Variables de estudio y operación	61
2.2.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	64
2.2.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	64
3	RESULTADOS	66
3.1	ANÁLISIS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LIMA METROPOLITANA.....	66
3.1.1	Población de diseño	66
3.1.2	Crecimiento poblacional calculado a base de datos del INEI	67
3.2	VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE EMISOR SUBMARINO	70
3.2.1	Pérdida de carga total	70
3.2.1.1	Pérdida de carga lineal y singular en el emisor submarino	70
3.2.1.2	Pérdida de carga de vertedero.....	72
3.2.1.3	Pérdida de carga por diferencia de densidad	72
3.2.1.4	Pérdida de carga por diferencia de marea.....	75
3.2.1.5	Pérdida de carga en el difusor.....	75
3.3	MODELO DE DISPERSIÓN.....	80
3.3.1	Campo Cercano	85
3.3.2	Campo Lejano	91
3.4	OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LOS EMISORES SUBMARINOS ..	97
3.4.1	Propuesta hidráulica de emisor submarino.....	97
3.4.2	Propuesta de modelo de dispersión	102
3.4.2.1	Campo Cercano	102
3.4.2.2	Campo Lejano	108
4	CONCLUSIONES	115
5	RECOMENDACIONES	117
6	REFERENCIAS	118
7	ANEXOS	127
7.1	ANEXO 1: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 002-2013-ANA-DGCRH	127

7.2 ANEXO 2: SISTEMA DE DIFUSORES DEL EMISOR SUBMARINO DE LA PTAR LA CHIRA	132
7.3 ANEXO 3: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES	133
7.4 ANEXO 4: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA.....	135
7.5 ANEXO 5: LÍNEA PIEZOMÉTRICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LA CHIRA.....	145
7.6 ANEXO 6: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	146
7.7 ANEXO 7: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	147
7.8 ANEXO 8: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	148
7.9 ANEXO 9: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	149
7.10 ANEXO 10: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL	

PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	150
7.11 ANEXO 11: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	151
7.12 ANEXO 12: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	152
7.13 ANEXO 13: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	153
7.14 ANEXO 14: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	154
7.15 ANEXO 15: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL	

PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	155
7.16 ANEXO 16: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	156
7.17 ANEXO 17: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	157
7.18 ANEXO 18: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	158
7.19 ANEXO 19: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	159
7.20 ANEXO 20: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	160

7.21 ANEXO 21: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	161
7.22 ANEXO 22: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	162
7.23 ANEXO 23: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	163
7.24 ANEXO 24: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	164
7.25 ANEXO 25: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	165
7.26 ANEXO 26: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE	

FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	166
7.27 ANEXO 27: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	167
7.28 ANEXO 28: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	168
7.29 ANEXO 29: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	169
7.30 ANEXO 30: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	170
7.31 ANEXO 31: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	171

7.32 ANEXO 32: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	172
7.33 ANEXO 33: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	173
7.34 ANEXO 34: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.	174
7.35 ANEXO 35: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN REAL DE LA PTAR LA CHIRA.....	175
7.36 ANEXO 36: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	176
7.37 ANEXO 37: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE	

FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	177
7.38 ANEXO 38: CONCENTRACIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN LA PTAR LA CHIRA.	178
7.39 ANEXO 39: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	178
7.40 ANEXO 40: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	179
7.41 ANEXO 41: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LA PTAR LA CHIRA.	180
7.42 ANEXO 42: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	181
7.43 ANEXO 43: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA	

HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	182
7.44 ANEXO 44: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	183
7.45 ANEXO 45: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	183
7.46 ANEXO 46: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	184
7.47 ANEXO 47: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	185
7.48 ANEXO 48: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	186
7.49 ANEXO 49: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL	

PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL PRIMER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	187
7.50 ANEXO 50: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN LA PTAR LA CHIRA.	188
7.51 ANEXO 68: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	188
7.52 ANEXO 52: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	189
7.53 ANEXO 53: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN LA PTAR LA CHIRA.	190
7.54 ANEXO 54: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	191
7.55 ANEXO 55: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA	

HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	192
7.56 ANEXO 56: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LA PTAR LA CHIRA.....	193
7.57 ANEXO 57: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	193
7.58 ANEXO 58: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	194
7.59 ANEXO 59: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	195
7.60 ANEXO 60: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	196
7.61 ANEXO 61: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL	

PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	196
7.62 ANEXO 62: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	197
7.63 ANEXO 63: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	198
7.64 ANEXO 64: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL SEGUNDO ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	199
7.65 ANEXO 65: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN LA PTAR LA CHIRA.	200
7.66 ANEXO 66: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	200
7.67 ANEXO 67: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL	

PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA.....	201
7.68 ANEXO 68: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE ACEITES Y GRASAS EN LA PTAR LA CHIRA.	202
7.69 ANEXO 69: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	203
7.70 ANEXO 70: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	204
7.71 ANEXO 71: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LA PTAR LA CHIRA.	205
7.72 ANEXO 72: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	205
7.73 ANEXO 73: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL	

PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	206
7.74 ANEXO 74: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	207
7.75 ANEXO 75: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	208
7.76 ANEXO 76: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	209
7.77 ANEXO 77: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PTAR LA CHIRA.....	210
7.78 ANEXO 78: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES NORMALES CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA....	210

7.79 ANEXO 79: (A) RELACIÓN ENTRE LA DILUCIÓN DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN Y (B) RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HORIZONTAL DE FLUJO DEL EFLUENTE CON LA ALTURA DE FLUJO DEL EFLUENTE DEL PARÁMETRO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL TERCER ESCENARIO CON CONDICIONES EXTREMAS CON LA CONFIGURACIÓN OPTIMIZADA DE LA PTAR LA CHIRA	211
7.80 ANEXO 80: DILUCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL OCÉANO PARA LAS CORRIENTES MARINAS EN CONDICIONES NORMALES Y CONDICIONES EXTREMAS DEL PARÁMETRO DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN LA PTAR LA CHIRA.	212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. LMP de efluentes para su vertimiento en un cuerpo de agua (D.S. N° 003-2010 MINAM).....	15
Tabla 2. ECA de efluentes para su vertimiento en un cuerpo de agua (D.S. N° 023-2009 MINAM).....	16
Tabla 3. Frecuencia del monitoreo según el caudal de operación promedio anual (D.S. N° 273-2013 VIVIENDA.).	17
Tabla 4. Coeficientes de pérdida K_L de accesorios de tubería de cámara de bombeo al emisor submarino para flujo turbulento.	35
Tabla 5. Coeficientes de pérdida K_L de accesorios de tubería de derivación en el emisor submarino para flujo turbulento.	35
Tabla 6. Coeficientes de pérdida K_L de accesorios de codo de la tubería para flujo turbulento.	36
Tabla 7. Principales modelos que puede generar el software Visual Plumes.....	44
Tabla 8. Datos de entrada de alimentación del modelo UM3 y resultados.	49
Tabla 9. Síntesis del análisis de sensibilidad de UM3 frente a variaciones de los parámetros de entrada dentro del rango de valores realistas de diseños de vertido en el Mar Mediterráneo.	51
Tabla 10. Variables involucradas.	63
Tabla 11. Población de diseño por los métodos de crecimiento poblacional en la PTAR La Chira	66
Tabla 12. Datos recaudados de población para la PTAR La Chira 2000 – 2017.	67
Tabla 13. Población proyectada con datos obtenidos del INEI hasta el año 2032.	68
Tabla 14. Cantidad de agua residual producida hasta el año 2016.....	69
Tabla 15. Gasto de agua residual diario evacuado por habitante proyectado al año 2033.	69
Tabla 16. Caudal proyectado generado por día en la zona de influencia de la PTAR La Chira al año 2033.	70
Tabla 17. Tabla de mareas del mes de marzo 2019 - Lima.	73
Tabla 18. Resumen de datos de niveles de marea desde el año 2014-2019.	74
Tabla 19. Tabla resumen de mareas.	74
Tabla 20. Pérdida de carga por diferencia de densidad PTAR La Chira.....	75
Tabla 21. Medidas de la sección transversal de la tubería del emisor submarino de la PTAR La Chira.	76

Tabla 22. Medidas de la sección transversal de la tubería para el difusor de la PTAR La Chira.	76
Tabla 23. Perdida de carga en el tramo difusor de la PTAR La Chira (Estado Actual).	77
Tabla 24. Perdida de carga en el tubo elevador de la PTAR La Chira (Estado Actual).	78
Tabla 25. Perdida de carga en boquillas de la PTAR La Chira (Estado Actual).	79
Tabla 26. Perdida de carga en la salida del difusor de la PTAR La Chira (Estado Actual).	80
Tabla 27. Características de descargas básicas para aguas residuales con la configuración actual del emisor submarino de la PTAR La Chira.	84
Tabla 28. Resultados de los análisis de aguas residuales de la PTAR La Chira.	84
Tabla 29. Características del cuerpo de agua en la zona de la PTAR La Chira.	85
Tabla 30. Altura necesaria para cumplir los LMP para los parámetros indicados.	86
Tabla 31. Rango de valores de velocidades del flujo expulsado por el emisor submarino en la superficie del océano.	86
Tabla 32. Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano.	87
Tabla 33. Rango de valores de tiempo en el cual el flujo tarda en llegar a la superficie del océano desde que es expulsado del emisor submarino.	88
Tabla 34. Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano.	89
Tabla 35. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones ordinarias.	91
Tabla 36. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones ordinarias.	92
Tabla 37. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones ordinarias.	93
Tabla 38. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones extraordinarias.	94
Tabla 39. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones extraordinarias.	95
Tabla 40. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones extraordinarias.	96

Tabla 41. Características de descargas básicas para aguas residuales con la configuración propuesta del emisor submarino de la PTAR La Chira.	97
Tabla 42. Pérdida de carga en el tramo difusor de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).	98
Tabla 43. Pérdida de carga en el tubo elevador de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).	99
Tabla 44. Pérdida de carga en boquillas de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).....	100
Tabla 45. Pérdida de carga en la salida del difusor de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).	101
Tabla 46. Tabla comparativa de pérdida actual vs pérdida generada en la propuesta.	101
Tabla 47. Altura necesaria para cumplir los LMP para los parámetros indicados	103
Tabla 48. Rango de valores de velocidades del flujo expulsado por el emisor submarino en la superficie del océano	103
Tabla 49. Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano.....	104
Tabla 50. Rango de valores de tiempo en el cual el flujo tarda en llegar a la superficie del océano desde que es expulsado del emisor submarino.....	105
Tabla 51. Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano.....	106
Tabla 52. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones ordinarias.....	109
Tabla 53. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones ordinarias.	110
Tabla 54. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones ordinarias.	111
Tabla 55. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones extraordinarias.....	112
Tabla 56. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones extraordinarias.	113
Tabla 57. Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones extraordinarias.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del sistema de emisión submarino.	12
Figura 2. Diferentes formas de estructuras difusoras.	14
Figura 3. Patrones típicos de flujo en chorros flotantes bajo condiciones de corrientes y aguas estancadas.	18
Figura 4. Atrapamiento de aguas residuales en aguas de densidad homogénea (a) y estratificada (b).	19
Figura 5. Esquema de un chorro ascendente de agua residual descargada horizontalmente por un difusor dentro del mar.	21
Figura 6. Variables y elementos geométricos para el diseño del emisor y difusor submarino.	25
Figura 7. Salinidad Superficial del mar.	30
Figura 8. Temperatura Superficial del mar (°C).	30
Figura 9. Válvula anti-retorno para masas de agua tipo Duckbill.	37
Figura 10. Duckbill de 250 mm en el emisor submarino de Viña del Mar, Chile.	37
Figura 11. Simulación de la cámara de carga por un vertedero de pared delgada	39
Figura 12. Esquema del vertido simulado por el paquete de programas VISUAL PLUMES de sección transversal de UM3.	45
Figura 13. Esquema del vertido simulado por el paquete de programas VISUAL PLUMES de sección en planta de UM3.	46
Figura 14. Rebanada desplazándose y definiendo el chorro en el modelo UM3.	48
Figura 15. Generación de aguas residuales y aguas residuales tratadas en Lima Metropolitana (m ³ /día).	53
Figura 16. Número de plantas de tratamiento por operadores en Lima Metropolitana.	54
Figura 17. Número plantas de tratamiento en Lima Metropolitana operadas por SEDAPAL con las tecnologías empleadas en cada una.	54
Figura 18. Volumen de aguas tratadas según tipo de tecnología usada en la PTAR (m ³ /día)	55
Figura 19. Plantas de Tratamientos de Agua en Centro de Lima Metropolitana – 2016. ...	55
Figura 20. Plantas de Tratamientos de Agua en Sur de Lima Metropolitana – 2016.	56
Figura 21. Plantas de Tratamientos de Agua en Norte de Lima Metropolitana – 2016.	56
Figura 22. Porcentaje de caudal en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – 2016. ..	57
Figura 23. Esquema de la PTAR La Chira.	59

Figura 24. Visualización del área de estudio PTAR La Chira.....	60
Figura 25. Flujograma de investigación.	62
Figura 26. Distritos beneficiados por la PTAR La Chira.	66
Figura 27. Ecuación de tendencia para una regresión polinomial de grado 2 para la PTAR La Chira.	67
Figura 28. Cantidad de agua residual generada por cada habitante mediante la distribución polinomial de segundo grado.....	69
Figura 29. Configuración actual del tramo difusor del emisor submarino de la PTAR La Chira.	83
Figura 30. Detalle del difusor isométrico del emisor submarino de la PTAR La Chira.	83

INTRODUCCIÓN

El problema

Conforme han pasado los años se ha incrementado la cantidad de volumen de aguas domésticas residuales por cada habitante. Ello, debido a que las ciudades han ido creciendo paulatinamente, esto provoca que las plantas de tratamiento de aguas residuales tengan una mayor capacidad de procesamiento de efluentes. A nivel Latinoamérica, el agua residual se descargaba en la superficie de los cuerpos de agua, sin embargo, esta acción ocasionaba que se produzca una contaminación y afecte directa e indirectamente al ecosistema. Por ello, para tratar de recuperar su estado natural se realizaron los proyectos de creación de plantas de tratamiento con su respectivo emisor submarino, el cual evacúa el agua tratada a una cierta profundidad donde cumple con las normativas legales ambientales. Debido a la gran importancia que tiene la planta de tratamiento de aguas residuales y por supuesto del emisor submarino, es el elemento que conduce las aguas tratadas hacia el mar es de suma exigencia que los resultados obtenidos sean los más confiables posibles, pues de ello depende que la contaminación del mar no se incremente. Además, para que de esta manera se pueda apoyar a los proyectos de restauración de las playas en el litoral de la zona costera La Chira que se habían perdido por la excesiva presencia de aguas servidas vertidas en la superficie del mar sin ningún tratamiento. También, para que la fauna marina se conserve y los beneficiarios de la pesca no se vean afectados. En base a ello, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) autorizo a la Concesionaria La Chira S.A. el vertimiento de efluentes en el océano pacifico cumpliendo los estándares de calidad del agua, los cuales son Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) (Ver Anexo 1).

Sin embargo, existe una gran dificultad para la obtención de muestras dentro de los mismos emisores, lo que conlleva a que se realice ensayos de pérdidas de carga, eficiencias, entre otros dentro de los procesos de tratamiento de las aguas y en la entrada del emisor submarino. Con ello, se podría generar una variación considerable en los resultados, principalmente en el cálculo de los procesos de tratamiento que son indispensables que se produzcan de manera adecuada, ya que estos son eliminados a través de los difusores hacia el mar y se produzca la correcta dilución del efluente. En base a lo descrito anteriormente, se considera indispensable buscar la forma de contrarrestar lo antes mencionado y para ello, se propone evaluar la capacidad hidráulica de los emisores submarinos y con ello simular la dispersión

del efluente en campo cercano y lejano, y determinar qué es lo que sucede al modificar algunos datos de mejora.

Esta investigación se ha realizado en base a los problemas constantes que se producen en los emisores submarinos como es la baja capacidad hidráulica de las plantas de tratamiento de aguas residuales en distintos países como Canadá, EE. UU., Venezuela, Colombia, Holanda, México, Turquía, Italia, España entre otros.

Por último, se evidencia que en distintas partes del mundo se presentan problemas en la capacidad hidráulica dentro de las tuberías de los emisores submarinos. En vista de ello, se propusieron realizar algunos cambios en función al diámetro del difusor, ángulo de inclinación del difusor con respecto al emisor y el coeficiente de contracción del difusor. Además, el coeficiente de rugosidad es un parámetro dependiente directamente del material que se utilizan en los emisores submarinos, por ejemplo, es muy común que se emplee polietileno de alta densidad ya que es uno de los mejores materiales que no genera pérdida de carga. Por ello, esta característica influye en gran medida en la capacidad hidráulica de la tubería, de tal manera que ocasiona un mayor o menor volumen de fluido que debe trasladarse dentro de la tubería. Este es un aspecto crítico a la hora de dimensionar las tuberías, pues el cálculo real de las pérdidas de carga de una tubería en servicio debe tener en cuenta no solo la rugosidad intrínseca de la tubería, sino también las condiciones del servicio que, al fin y al cabo, son las más importantes tales como las válvulas, codos, juntas entre los tubos, cambios de sección, pozos, etc. En la práctica, el cálculo real de la capacidad hidráulica de una tubería tendrá en cuenta las condiciones más desfavorables a nivel hidráulico que se vayan a dar en la vida útil de la tubería.

Es por ello que debido a que la generación de aguas residuales en Lima aumenta con respecto al tiempo y la capacidad de los emisores submarinos no aumenta a nivel hidráulico para poder atender esta demanda de agua, se propone una configuración para los emisores para aumentar la salida del caudal por la zona de difusores reduciendo la resistencia que tiene el efluente con la tubería. Además, de aumentar la dilución del fluido con el océano para que cumplan con las leyes ambientales.

Estado de Arte

A nivel mundial, la calidad del agua costera se está deteriorando debido a las influencias antropogénicas (Cebe & Balas, 2018). Dentro de las influencias se encuentra las aguas residuales (aguas utilizadas, domésticas, urbanas y líquidos industriales y mineros) son tratados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), para luego ser vertidos en las profundidades del mar a través de un emisor submarino. Sin embargo, ocurren diversos problemas con la evacuación de las aguas en el mar, pues muchos emisores submarinos en el mundo adolecen de capacidad hidráulica y eficiencia de dilución reducidas, debido a que el agua salina y el sedimento ocupan una porción de la tubería del emisor submarino (Gücüyen et al., 2019). Ello, debido a que el diseño de los emisores submarinos se realiza de manera incorrecta e ineficiente.

Asimismo, un mal cálculo en el número de difusores y la distancia entre ellos reducen la dilución del efluente, tal es caso de emisores submarinos que tienen más cantidad de difusores, los cuales incrementan la capacidad de dilución a comparación de emisores que tienen un difusor sobre una gran área (King & Cowen, 2019). También, la colocación de válvulas es indispensable, ya que éstas realizan el trabajo de cierre de paso de agua de mar dentro del emisor. Por ejemplo, la válvula Duckbill no tiene ninguna parte móvil que se pueda corroer o inhabilitar, lo que permite su desempeño excepcional bajo las condiciones adversas de las aguas marinas (Gücüyen et al., 2019). Además, la estación de bombeo debe ser lo suficientemente capaz de poder bombear la cantidad de agua tratada en el caso de que emisor funcione con ello y no por gravedad.

Por otro lado, la pérdida total de carga en el emisor se presenta por las pérdidas singulares y lineales, las cuales son verdaderamente relevantes en el momento que se calcula la presión total desde la planta de tratamiento hasta la disposición final. Al respecto, Sutthisak, Adichai, Surachai, & Suwatana (Lapprasert et al., 2018), señalan que:

Una de las mayores pérdidas de energía en la red troncal fue sorprendentemente encontrada en las líneas de alimentación cortas desde la red troncal hasta las tuberías de distribución donde están instalados los medidores de flujo del distrito (18.8% de la energía de entrada). Una de las razones principales es que se ha cerrado una gran cantidad de líneas de alimentación para establecer un sistema de área medida por el distrito (DMA). Por lo tanto, la pérdida de energía en las líneas de alimentación debe

evaluarse exhaustivamente porque pueden ser puntos vulnerables en términos de eficiencia energética cuando las redes de agua se rediseñan a sistemas DMA. (p.3)

Por otra parte, Fox, Boxall, & Collins (2018, como se citó en GPS PE Pipe, 2014) señalan que las tuberías de los emisores submarinos usualmente son de Polietileno de alta densidad (HDPE), debido a la ventaja económica, durabilidad y flexibilidad que posee el material (Fox et al., 2018). De esta manera, tomando en cuenta la característica del material el funcionamiento es imprescindible para la dilución de partículas y depende del transporte de tuberías, pues el polietileno es ligero y de accesible manejo, pero se debe tener cuidado durante el transporte, manipulación y almacenamiento, para que de esta manera se pueda garantizar que no se dañen. Al respecto Fox et al. (2018), señalan que:

Las tensiones residuales son importantes para cuantificar el comportamiento del material en condiciones de carga hidráulica y, lo que es más crítico, para cuantificar el comportamiento estructural de fallas de tuberías tales como ranuras longitudinales (p. 2).

También, Fox et al. (2018, como se citó en Massari, Brunone, & Meniconi, 2012) mostraron los resultados de una sucesión de observaciones físicas del comportamiento de las aberturas longitudinales en polietileno de alta densidad (HDPE), destacando el vínculo entre el tiempo y la presión de la tensión ubicada alrededor de la fuga. Además, Fox et al. (2018, como se citó en Ssozi et al., 2015) elaboraron modelos de Análisis de Elementos Finitos (FEA) de la respuesta visco elástica de las ranuras longitudinales y revelaron los impactos primordiales sobre las aberturas en las tuberías de plástico, es decir, la relación del tiempo luego de la carga para calcular el área de fuga instantánea. A pesar de ello, aún persiste la obligación de resolver los parámetros claves que verifican el comportamiento de la fuga de las ranuras en tuberías visco elásticas serán semejantes a los estudios de elasticidad lineal. Además, Fox et al. (2018, Como se citó en Cassa & van Zyl, 2011) señalaron que:

Utilizaron el análisis de elementos finitos (FEA) para investigar la importancia de varios parámetros en el comportamiento de fuga de hendiduras longitudinales, circunferenciales y espirales. Los resultados compilados se usaron para obtener estadísticamente una ecuación que define el cambio de área dependiente de la presión para cada tipo de fuga y posteriormente se ingresó a una reformulación del modelo FAVAD definido por mayo (1994). El modelo de fugas finalizado presentado

proporciona una metodología efectiva y simple para cuantificar la fuga dependiente de la presión área y, por lo tanto, para predecir un valor de exponente de fugas explícito. (p. 2)

Asimismo, la instalación y hundimiento de las tuberías influyen en el correcto funcionamiento, ya que si son golpeadas pueden sufrir roturas lo que conllevaría a que estas tengan filtraciones e interfiera en la presión que se debe mantener en el emisor. El hundimiento de la tubería realiza a través de la fuerza de la naturaleza, las cuales son presión del aire, gravedad y flotabilidad. Por otro lado, el hundimiento de la zona de difusores se realiza mediante grúas sostenidas en un barco. Se puede generar problemas con las corrientes marinas, ya que estas influyen en el hundimiento, sin embargo, esto puede controlarse registrando la velocidad de hundimiento y regulando la presión interna.

De acuerdo con los problemas antes mencionados se presentan consecuencias, las cuales se tratarán a continuación. Primero, la pérdida de presión manométrica dentro de la tubería es causada por las pérdidas que se mencionaron líneas arriba. Ello, provoca una disminución del caudal que se expulsa a través de los difusores. Para citar un ejemplo, a principios de la década de 1980, la planta de tratamiento de aguas residuales de los operadores de EDAR en Sidney, isla de Vancouver, Columbia Británica, Canadá, se quejó de la disminución de la capacidad hidráulica del emisor de la instalación. Posteriormente, un buzo de inspección descubrió que la mitad de los veinte difusores de 64 mm de diámetro estaban tapados con papel y cabello (Bonan & Doney, 2018). También, el ingreso de sedimentos marinos y salmuera se acoplan a los ya existen en la tubería por las aguas residuales que no salen con la presión necesaria y por el tiempo de funcionamiento. Por otro lado, la limitación de accesorios se presenta, debido al cálculo inadecuado de los accesorios en la parte de diseño. Uno de ellos son los difusores, los cuales deben ser calculados de manera adecuada y con la distancia entre ellos bien definida para que el emisor no tenga problemas para evacuar la cantidad de soluto correspondiente en el solvente.

Además, se produce contaminación del mar, debido al deficiente funcionamiento de los emisores y afecta de la misma manera a las personas que recurren a las playas. La importancia de este problema incide en que el medio ambiente marino realiza un papel esencial dentro del equilibrio climático y es muy primordial dentro de los recursos económicos, social y de calidad de vida (Ahmed et al., 2018). Primero, se generan playas contaminadas, debido a la proliferación de organismos patógenos y por la interacción de las

olas con el emisor. Por ejemplo, en San Francisco, California un emisor se desnudó en la playa inferior durante los meses de invierno. Se expusieron las partes superiores de corte de tablestacas de acero, roca, acero de refuerzo y hormigón armado. Estos constituyen un verdadero peligro para la seguridad de los bañistas (Bonan & Doney, 2018). Otro caso de ejemplificación se dio en los resultados de satélite en fragmentos de imágenes procesadas usando métodos especiales (Bondur et al., 2016), las imágenes fueron recibidas de los satélites WorldView-3, WorldView-2, y GeoEye. En las zonas de contaminación se observan las imágenes espaciales, que fueron registrados en fechas diferentes: 18 de febrero 2015, 10 de mayo 2015, 08 de julio 2015 y 10 de septiembre 2015; las cuales muestran un mapa combinado con las zonas de contaminación, que se indican por sus límites; las zonas de contaminación fueron revelados por las imágenes de espacio en la ubicación de la rotura del colector de descarga en diferentes días. De igual manera, la pérdida de biodiversidad es esencial, ya que los recursos hídricos son primordiales para apoyar la biodiversidad y proporcionar beneficios sociales y económicos para los humanos (Longyang, 2019; Nigussie et al., 2018).

En Turquía, dos investigadores de la Universidad de Gazi realizaron una investigación llamada “Modeling of near field dilution of heated discharges of sea outfalls”, para la evaluación del vertido de aguas residuales por medio de un emisor submarino en la zona costera de Samsun Bay. Este análisis se realizó con el propósito de identificar el área de influencia de las aguas residuales emitidas por el emisor submarino tras ser liberado con contaminantes tóxicos y microorganismos nocivos tratados. Las regulaciones legales establecen criterios de limitación para minimizar este impacto negativo, por el cual se realizó una modelación de la zona de estudio con el software CORMIX2 y Visual Plumes para realizar una comparativa de los resultados obtenidos en ambos modelos. Además, la función más importante que se espera de un sistema de descarga marina es reducir las concentraciones dadas al medio ambiente por debajo de valores máximos permisibles determinados por la sustancia, la dilución, dependiendo del uso previsto de la costa. Teniendo puntos de referencia para realizar pruebas de calidad del agua que deben de cumplir la normativa para que el proyecto de la construcción del emisor submarino tenga una validez técnica. Se realizan propuestas que varían la velocidad de corriente marina, caudal, diámetro de orificio, cantidad de orificios y longitud del tramo difusor para identificar que parámetro influye de una manera considerable a la dilución en el campo cercano. Ante esta situación, los autores descubrieron que el parámetro que tiene una influencia considerable es la cantidad de orificios y el diámetro

de ellos en la zona de difusores, por el cual es el lugar donde se emite el flujo de las aguas residuales tratadas. Además, se evidencio que la velocidad de corrientes marinas no tuvo mucha influencia con el fluido, más bien la velocidad de salida es lo que aumento de manera exponencial el grado de dilución en el cuerpo de agua. Sin olvidar, ambos softwares que se utilizaron para realizar los modelos han tenido una varianza con respecto a sus resultados con caudales menores a 15 m³/s, esto cambia rotundamente si los caudales eran mayores a la cantidad que ya se mencionó (İnan & Yılmaz, 2018).

En otra fuente, la cual tiene como título “Mixing of swirling inclined dense jets – A numerical study” realizada en Singapur y que tiene como autores a Jiang y Law, nos explica que el problema que tienen los fluidos hiper densos como son la salmuera es la capacidad para diluirse en un cuerpo de agua. El estudio se encarga de examinar el efecto de los remolinos sobre las características de mezcla de chorros densos inclinados de 45 grados utilizando simulaciones numéricas con dos enfoques diferentes. Sin embargo, ambos enfoques subestimaron la propagación adicional en la mitad inferior del chorro denso inclinado debido a la mezcla convectiva por la inestabilidad inducida por la flotabilidad, y también la dilución en general. Finalmente, se intentaron fuertes remolinos hasta el doble del valor más alto en los experimentos en las simulaciones numéricas para explorar la posibilidad de ruptura y desintegración del chorro en la salida. Se ha demostrado que la configuración es efectiva en la mezcla de efluentes con el agua ambiental circundante para minimizar el impacto ambiental, y ahora es una práctica estándar en diseños de emisores, como son la descarga de salmuera de plantas de desalinización. También, el escenario ideal requiere que la altura de elevación del terminal sea más baja que la superficie del agua, es decir, una sumergencia completa del chorro denso inclinado, mientras que la dilución del punto de retorno satisface los requisitos para el cumplimiento de la zona de mezcla. Además, la consideración de la inmersión total implica que el emisor debe ubicarse en aguas más profundas para evitar las interacciones superficiales. El costo de construcción aumentaría de manera correspondiente, lo que también se traduciría en un costo unitario de agua más alto para la desalinización con el arreglo financiero típico de recuperación de costos en la operación (Jiang & Law, 2018).

Por último, otro de los estudios, que hace referencia a nuestro problema, es el artículo científico “Quantifying the efficiency of a mono-port diffuser in the dispersion of brine discharges” realizada en Portugal y que tiene como autor a Mendonça. Dicho artículo trata sobre la cuantificación de la eficiencia de un difusor monoportuario en la dilución de una

descarga de salmuera, a través de un análisis de los datos del campo y la mezcla de los resultados del modelo. También, incluye cierta discusión sobre la precisión de predicción de los modelos de zona de mezcla cuando se comparan las mediciones de campo con las simulaciones CORMIX. La encuesta cuenta con datos y características de descarga de salmuera desde las plantas de desalinización. Asimismo, se utilizaron para reproducir ambos escenarios simulados en un modelo de zona de mezcla ELD (CORMIX 7,0). La evaluación de las condiciones de salmuera en el área de impacto acuático y que tanto afecta en el ecosistema marino, el cual indica que el análisis de sensibilidad reveló que CORMIX es muy sensible a los cambios en los parámetros correlacionados con la velocidad de descarga del chorro, como la velocidad de flujo y el diámetro del difusor. Por otro lado, la dilución inicial ocurre en la zona de mezcla de campo cercano, donde la configuración de la descarga y las características físicas de la salmuera influyen en la acción de mezcla; un emisor adecuadamente diseñado puede aumentar considerablemente la mezcla entre la salmuera y el agua ambiente que la recubre (Loya-Fernández et al., 2018).

En base a la información adquirida de emisores submarinos de los países de España, Alaska, Venezuela y Argentina, nos muestra que el problema principal que se encuentran en ellos es la falta de capacidad hidráulica. Por ello, se sostiene que la PTAR La Chira presenta los mismos inconvenientes o se presentarán en un futuro, ya que esta complicación es muy común en este tipo de estructura. Sin olvidar que afecta la dilución de las aguas residuales tratadas. Esto, debido a que no se cuenta con una velocidad de descarga adecuada para el caudal emitido por los difusores del emisor.

Formulación del Problema

¿Se puede mejorar la capacidad hidráulica del emisor submarino de la PTAR La Chira mediante el uso del coeficiente de contracción de las válvulas de retención en la zona de difusores?

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

“La capacidad hidráulica del emisor submarino de la PTAR La Chira va a mejorar mediante el uso de válvulas de retención tipo duckbill.”

Objetivo general

Mejorar la capacidad hidráulica del emisor de la PTAR La Chira mediante el uso del coeficiente de contracción de las válvulas de retención tipo Duckbill en el tramo difusor para verificar la correcta dispersión del efluente en el campo cercano y campo lejano.

Objetivos específicos

- Comparar el caudal proyectado con el caudal diseño por medio del análisis de crecimiento poblacional de Lima Metropolitana en base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) con la data poblacional proyectada por las concesionarias, respectivamente.
- Evaluar las pérdidas totales del emisor submarino de la PTAR La Chira.
- Implementar las válvulas Duckbill en el tramo difusor para la comprobación de dilución y dispersión del efluente en el océano pacífico mediante el uso de un modelo dispersión.
- Optimizar la capacidad hidráulica y modelo de dispersión del emisor submarino de la PTAR La Chira.

Descripción del contenido

La tesis empieza describiendo la introducción, antecedentes relacionados con la problemática, realidad de la problemática en nuestro medio e hipótesis propuesta. Asimismo, se muestran el objetivo general y los objetivos específicos, como se ha descrito anteriormente.

En el Capítulo 1 se describe las características ambientales del medio receptor en el entorno del emisor submarino. Además, se explicarán los factores que influyen en la capacidad hidráulica dentro del emisor. De igual modo se presenta las entidades relacionadas al funcionamiento de las PTAR y de las disposiciones legales que éstas deben cumplir. Por último, se presenta la herramienta para el desarrollo de la investigación, que son el software Visual Plumes que tienen como función crear un modelo de dispersión del efluente en el campo cercano y campo lejano del efluente emitido por medio de los difusores.

En el Capítulo 2 se realiza un procedimiento necesario para realizar el estudio. Asimismo, se analizarán la muestra y población que afecta este problema, los instrumentos utilizados

para la recolección de los datos. Para la recolección y análisis de datos se presenta la información obtenida junto con las técnicas empleadas y la planta de tratamiento de aguas residuales que nos muestra una definición más clara de la PTAR La Chira, además de los procesos y características de aguas tratadas.

En el Capítulo 3 se detalla el procedimiento para la verificación de caudal de diseño y caudal proyectado por medio del uso de población futura y evaluación de las pérdidas totales de ambos emisores de cada planta respectivamente. También, se va realizar el modelo de dispersión en campo cercano y campo lejano utilizando el software Visual Plumes, con el fin de realizar un modelo en condiciones normales y en condiciones extremas. Igualmente, comprobar si existe la posibilidad de aumentar la capacidad hidráulica sin disminuir la dilución en esa zona de estudio y cumplir con los Límites Máximo-Permisibles (LMP) para campo cercano y los Estándares de Calidad Ambientales (ECA) para campo lejano.

Finalmente se presenta conclusiones con respecto a todos los objetivos presentados en el capítulo 4; recomendaciones en el capítulo 5 para futuras investigaciones en la misma línea temática propuesta por la tesis. También, se muestra las diferentes referencias bibliográficas tomadas en cuenta para el desarrollo de la tesis en el capítulo 6 y los anexos que son información de carácter reservado que fueron brindados por SEDAPAL y MVCS en el capítulo 7, en los cuales se presenta decretos supremos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), planos correspondientes a la zona de estudio e informe trimestral de la calidad del agua.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Entidades relacionadas con las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Existen diferentes entidades públicas que se encargan de controlar y evaluar todos los lineamientos que involucran a una planta de tratamiento de aguas residuales, aplicando normas, leyes y estatutos. Las instituciones públicas más representativas son:

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS)
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)
- Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Ministerio de Producción (PRODUCE)
- Ministerio de Defensa (MINDEF)
- Ministerio de Salud (MINSA)

1.2 Planta Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Uno de los sistemas de recolección primaria para el tratamiento de aguas servidas, se encuentra dividida en 18 áreas de drenaje, según la orografía. Éstos, se encuentran formados por tuberías con diámetros que varían desde los 350 mm hasta los 2400 mm y que son de diferentes tipos de materiales como: concreto reforzado, asbesto cemento, policloruro de vinilo, concreto simple normalizado, poliéster reforzado de fibra de vidrio.

La operación y mantenimiento de los sistemas se hallan bajo la supervisión de la Gerencia de Gestión de Aguas Residuales a través del Equipo de Recolección Primaria (ERPrim), en quienes recae el deber de asegurar la recolección y conducción de las aguas residuales con destino a las PTAR, lugar donde las aguas residuales son tratadas mediante distintos procesos como desbaste de sólidos, desarenado, desengrasado, microtamizado entre otros, para no contaminar el mar cuando son vertidos (MVCS, 2018; SEDAPAL, 2015).

Por otro lado, se debe mencionar que SEDAPAL administra varias PTAR's, pero una de ellas se encuentra concesionada por diferentes empresas, las cuales son Acciona Agua con Graña y Montero para la PTAR La Chira.

1.3 Emisor submarino

Es una tubería sumergida a cierta profundidad en el océano que transporta aguas residuales tratadas desde una planta de tratamiento hacia el mar. Descargar chorros en áreas costeras es una práctica común en muchas aplicaciones industriales (Chen & Hsiao, 2018). La ubicación de descarga del emisor es primordial, ya que afecta la gradiente de dilución y el tiempo que necesita para llegar a la superficie marina (Inan, 2019). Además, los emisores son indispensables en la expulsión de aguas residuales tratadas para eliminar la contaminación del agua en la zona urbana de las ciudades costeras. En las zonas costeras, los desagües sumergidos a menudo se utilizan para diluir los efluentes industriales como las aguas residuales tratadas (Shrivastava & Adams, 2019a). Sin embargo, estas caídas se consideran una especie de fuente de contaminación para las aguas costeras, lo que representa un alto riesgo para el medio ambiente costero y oceánico y el sistema ecológico (Fang et al., 2019). Los chorros de aguas residuales que tienen una densidad menor que el agua ambiental a menudo emanan de la desalinización y las actividades municipales (Yan et al., 2019).

El emisor cuenta con dos partes muy importantes, la primera que se encuentra en el tramo superficial y la segunda que se ubica en el océano, el cual consta de una zona de puertos comúnmente llamados difusores por medio del cual se expulsa el efluente, tal como se aprecia en la Figura 1 (Cebe & Balas, 2018).

Figura 1. Composición del sistema de emisión submarino.

Actualizado al: 20/12/2007.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

El agua residual que pasa a través de los difusores tiene una menor densidad que la del océano y sube hacia la superficie (campo lejano). A medida que la pluma se genera en la superficie del océano, el efluente se diluye en mayor grado en las orillas de la pluma y en

menor grado en el centro. El grado de dilución que ocurre luego que el efluente es expulsado por medio de los difusores genera una mezcla entre el fluido y el cuerpo de agua, el cual es llamado dilución inicial. La dilución mínima del flujo expulsado es muy importante, ya que determina la concentración en la superficie oceánica (Ostoich et al., 2018).

1.3.1 Difusor Submarino

Los difusores son una de las partes más importantes que tienen los emisores en los últimos metros de su longitud y que de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2007), quienes manifiestan que:

La localización del sistema difusor es un factor que muchas veces resulta crítico ya que es la estructura con mayor impacto en la dilución de las aguas de descarga. Se recomienda colocar esta estructura de forma horizontal y enterrada para facilitar operaciones de instalación y disminuir los efectos de los asentamientos de los sólidos. Las boquillas de los difusores se instalan de tal forma que garanticen que no se azolvaran en el movimiento natural del material del fondo. Un tipo efectivo y simple de difusor es el que distribuye el efluente a través de muchas bocas sobre un área grande, con una mínima pérdida de carga. La distribución del flujo debe producirse de modo que la descarga por cada boca sea aproximadamente uniforme; la velocidad del flujo en todas las partes del difusor debe de ser lo suficientemente alta como para impedir que se le depositen partículas residuales restantes después de la sedimentación primaria, además, el diseño debe de permitir limpiezas ocasionales y las bocas deben de descargar llenas en todo momento para evitar la entrada de agua de mar. La pérdida de carga total en el sistema debe mantenerse razonablemente baja. (p. 15-16)

Los difusores pueden tener diferentes tipos de configuraciones físicas como se indica en la Figura 2.

Una vez sido expulsado el efluente obtiene un comportamiento típico como un chorro turbulento. Bajo el impulso inicial y/o flotabilidad, las aguas circundantes se entrenan continuamente en el cuerpo del chorro, lo que resulta en una reducción significativa de la concentración del chorro durante sus procesos iniciales de mezcla (Fang et al., 2019).

Para los autores Yan y Mohammadian nos menciona teóricamente, se prefiere un difusor de un solo puerto desde el punto de vista del diseño sostenible, porque el efluente puede ser

efectivamente diluido por el agua ambiental. Sin embargo, a menudo es imposible proporcionar espacio suficiente entre los puertos de descarga para que se mezclen libremente con el agua ambiental sin interacciones de chorro debido a la gran cantidad de aguas residuales, la limitación de los presupuestos del proyecto y la restricción del uso de la tierra, y así, los difusores multipuerto se utilizan con frecuencia hoy en día (Yan & Mohammadian, 2019).

1.4 Disposiciones ambientales

1.4.1 Valores máximos admisibles

El Ministerio del Ambiente, (2009) indica que:

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. (p. 03)

Figura 2. Diferentes formas de estructuras difusoras.
 Actualizado al: 20/12/2007.
 Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

En la Tabla 1, se muestra los límites máximos permisibles (LMP) que debe tener el efluente para ser vertido dentro del océano (Ver Anexo 3) y en la Tabla 2, se muestra los estándares de calidad ambiental (ECA) que debe tener en efluente en la superficie del océano (Ver Anexo 4).

Tabla 1.

LMP de efluentes para su vertimiento en un cuerpo de agua (D.S. N° 003-2010 MINAM).

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	200
PH	Unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010).

Tabla 2.

ECA de efluentes para su vertimiento en un cuerpo de agua (D.S. N° 023-2009 MINAM).

Parámetro	Unidad	ECA
FÍSICOS Y QUÍMICOS		
Aceites y grasas	mg/L	1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	10
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	30
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0.08
Temperatura	°C	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4
P _H	Unidad	6.8-8.5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	30
MICROBIOLÓGICOS		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	≤ 30
Coliformes Totales	NMP/100 mL	

Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM, 2009c).

1.5 Características físicas de las descargas

1.5.1 Descargas superficiales

El efluente evacuado por los difusores tiene menor densidad que las aguas del océano, por lo que una vez dentro del mar se elevan dentro de estas, o bien, cuando son descargadas en la superficie flotan de manera horizontal a lo largo de la superficie, ello se puede evidenciar mejor en la Figura 3. La frecuencia del monitoreo va a depender del caudal procesado anualmente según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), esto se presenta en la Tabla 3. Este fenómeno conserva alguna similaridad con la mayoría de los chorros de descargas sumergidas. Para una distancia relativamente corta, el efluente se comporta como chorro regido por la cantidad de movimiento inicial y dispersándose en sentidos lateral y vertical debido al mezclado turbulento. En este tipo de descargas son importantes la sección transversal y orientación del flujo entrando en el curso de la corriente.

Después de esta etapa, las entradas verticales llegan a ser inhibidas debido al frenado de la masa flotante de los movimientos turbulentos y el chorro experimenta una fuerte dispersión

lateral. Durante las condiciones de ambiente estancado, se puede formar una capa razonablemente delgada en la superficie de las aguas receptoras; esta capa puede experimentar movimientos de dispersión flotando como se muestra en la Figura 3.

En la presencia de flujo transversal en el ambiente, los chorros en la superficie flotante pueden mostrar cualquiera de los tres tipos de características siguientes de flujo: un chorro desviado débilmente que no interactúa con las líneas de corriente (Figura 3b); cuando el flujo transversal es fuerte, puede juntarse aguas abajo a la frontera formando una pluma pegada a la línea de frontera (Figura 3c). Cuando una descarga alta que fluye flotando se combina con una corriente transversal débil, los efectos de difusión de la masa flotante pueden ser tan fuertes que forma una pluma entrando aguas arriba que también permanece cerrada o pegada a la línea de frontera (Figura 3d).

Tabla 3.

Frecuencia del monitoreo según el caudal de operación promedio anual (D.S. N° 273-2013 VIVIENDA.).

Parámetros		Frecuencia del monitoreo según el caudal de operación promedio anual			
Afluente	Efluente	<10 L/s	>10 A 100 L/s	>100 A 300 L/s	>300 L/s
Aceites y grasas		Anual	Semestral	Trimestral	Mensual
Coliformes termotolerantes					
DBO ₅					
DQO					
PH					
Solidos totales en suspensión					
Temperatura					
Caudal (Lectura horaria o más frecuente)		1 por Semestre	1 por Trimestre	1 por Mes	Diario

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2013).

1.5.2 Descargas sumergidas

Las aguas del océano no se encuentran mezcladas de manera homogénea en la profundidad, es decir tienen una mayor densidad al fondo que en la superficie lo cual produce una estratificación. Las aguas residuales tratadas tienen una densidad aproximada a las de las aguas dulces, por ello tienden a elevarse hacia la superficie luego de ser descargadas a una cierta profundidad en el mar y por lo tanto incrementa su peso más que el agua superficial.

El cambio que se produce en la densidad, debido a la profundidad tiene un impacto muy significativo en el proceso de dilución inicial y puede evitar que la pluma llegue de forma total a la superficie, lo cual genera que los desechos queden atrapados bajo la superficie de modo que esta situación es la más deseada por razones higiénicas y estéticas, formando un campo de contaminantes sumergido (CONAGUA, 2007). La reducción de los impactos ambientales negativos del efluente requiere un diseño apropiado de los sistemas de descarga y una rápida mezcla del efluente con el agua en el ambiente receptor (Ardalan & Vafaei, 2019). Esto se puede reflejar de mejor manera en la Figura 4, donde las capas superficiales con aguas residuales pueden trasladarse a distancias considerables, de manera frecuente hacia la línea costera por la influencia de los vientos y olas. También, las corrientes superficiales son generalmente mayores que las corrientes subsuperficiales, de modo que el tiempo de desplazamiento hacia la línea costera se eleva y consigue un mayor tiempo para la degradación del agua residual (CONAGUA, 2007).

Figura 3. Patrones típicos de flujo en chorros flotantes bajo condiciones de corrientes y aguas estancadas.
Actualizado al: 20/12/2007.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

La relación entre la densidad y la profundidad puede calcularse con ρ/ρ_0 y producirá un valor negativo desplazándose hacia la superficie. La variable z representa la dimensión vertical; ρ_0 es utilizado para referir la densidad del mar al nivel de la descarga del difusor (z_0). La pluma se elevará a cierta profundidad y la dilución mínima que sucederá puede ser calculada de una manera muy sencilla si se asume un cambio lineal en la densidad del agua de mar (CONAGUA, 2007).

Figura 4. Atrapamiento de aguas residuales en aguas de densidad homogénea (a) y estratificada (b).
Actualizado al: 20/12/2007.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

Cabe precisar que el chorro puede ser de manera horizontal, inclinado o vertical con respecto al emisor submarino. Se ha demostrado que un chorro inclinado es efectivo para inducir la mezcla rápida de efluentes densos con el agua ambiental circundante, y ahora es una configuración estándar en diseños de emisores sumergidos (Jiang, Law, & Lai, 2019; Jiang, Law, & Song, 2019).

1.6 Procesos de dilución

Es usual que en zonas costeras las aguas servidas de los alcantarillados se viertan directamente en el mar, pero de acuerdo a las normas de calidad recomiendan que esas aguas sean tratadas previamente, para luego ser vertidas a cierta profundidad del mar muy lejos de la línea de playa. El diseño más óptimo de un emisor submarino puede alcanzar la dilución requerida de la descarga de aguas residuales para disminuir las concentraciones de contaminantes hasta los niveles aceptados por las leyes con respecto a la calidad de agua. Una dilución mínima de 100:1 es usual y permite que los efectos del emisor superen los tratamientos de las plantas de tratamiento convencionales. Sin embargo, la dilución medida

en el borde de una zona de regulación de la mezcla es más importante desde un punto de vista ambiental. Las regulaciones medioambientales suelen especificar el tamaño de una zona de mezcla en el que los contaminantes presentes en la necesidad efluente a ser diluidas a concentraciones umbral especificados (Shrivastava & Adams, 2019b).

Existen diferentes mecanismos que controlan las características de dilución de un emisor, los cuales se realizan en tres fases que son conocidas como dilución inicial, dilución bacteriana y dilución por transporte y dispersión horizontal.

1.6.1 Dilución Inicial

La dilución inicial ocurre durante los primeros minutos al salir el efluente del emisor y está sujeta a tres fases primordiales:

- En la primera fase, se mezclan el efluente con el agua del océano, debido a la fuerza con la que es expulsada desde el emisor y genera una energía ascendente producida por la diferencia de densidades entre el efluente y el océano. Ello, produce que el campo de aguas residuales tratadas se eleve en la columna de aguas extendiéndose en el proceso y finalmente el efecto de la corriente genera una mezcla lateral del agua de mar renovadora en el campo del efluente.
- En la segunda fase, se forma un campo homogéneo del efluente por difusión.
- En la última fase, la pluma es transportada desde los alrededores del difusor y diluida por la difusión marina. En esta misma etapa, la sedimentación y la desaparición gradual de bacterias o contaminantes no conservativos contribuyen igualmente a diluir la concentración.

La dilución media de la pluma que se obtiene al descargar verticalmente a través de un solo puerto u orificio está dada en la ecuación 1:

$$S_m = 0.29(U/Q_D)H^2 \quad (1)$$

Dónde:

Q_D : es el gasto de descarga (m^3/s).

H : profundidad de descarga (m).

U : velocidad media de las aguas receptoras (m/s).

El valor dado por la ecuación 1, representa 1.8 veces la dilución mínima en la línea central de la pluma. Además, se considera que en las descargas con puertos descargando horizontalmente la dilución se incrementa de un 30 a un 50%. En la Figura 5 se puede apreciar un esquema de chorro, el cual asciende a la superficie del mar de manera horizontal.

La dispersión del efluente mejora si se realiza a través de un difusor de bocas múltiples colocados en la salida. En caso que se realice la descarga mediante una sola boca la dispersión y dilución será mas lenta en comparación a que efluente se expulse mediante múltiples bocas. La dilución inicial para difusores de puertos múltiples está presentada en la ecuación 2 (CONAGUA, 2007).

Figura 5. Esquema de un chorro ascendente de agua residual descargada horizontalmente por un difusor dentro del mar.

Actualizado al: 20/12/2007.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007)

$$S_m = 0.54F(0.38 \frac{H}{dF} + 0.64)^{\frac{5}{3}} \quad (2)$$

Donde:

S_m : dilución inicial.

d : diámetro de las bocas de salida del difusor (m).

H : profundidad de vertido (m).

F : número de Froude representado en la ecuación 3.

$$F = \frac{U_d}{\sqrt{0.27d}} \quad (3)$$

Donde:

U_d es la velocidad del agua vertida a través de los orificios del difusor.

Las variables se encuentran definidas en la Figura 5. Como puede verse, la dilución inicial es una función de la altura ascendente y del Froude:

De las ecuaciones (1) y (2) se observa que, si se requiere un incremento en la dilución inicial, el difusor se puede localizar más lejos de la línea costera en aguas más profundas, ya que el valor de H se incrementa, o bien, un difusor más largo que pueda ser usado en aguas someras ya que el valor del gasto decrece al aumentar el número de orificios de descarga.

1.6.2 Dilución por inactivación bacteriana

Otro de los procesos de dilución que se produce inmediatamente después de la dilución inicial es denominado dilución por inactivación bacteriana. Para la descarga de aguas residuales tratadas, el mecanismo de mayor relevancia para el diseño es la desaparición de organismos indicadores tales como coliformes. De este modo, el cálculo de concentración de coliformes después del recorrido de la trayectoria del contaminante está dado por el modelo simple logarítmico de mortalidad bacterial propuesto por Brooks (1960), presentado en la ecuación 4.

$$S_b = 10^{\frac{T}{T_{90}}} \quad (4)$$

Donde:

S_b : dilución o muerte de coliformes.

T : tiempo de traslado de la zona de vertido de las aguas residuales a la zona a proteger (s).

T_{90} : tiempo requerido para que se produzca la muerte del 90% de las bacterias presentes inicialmente.

1.6.3 Dilución por dispersión horizontal

La dispersión horizontal y el transporte son función del régimen de corrientes locales y dispersión turbulenta. Brooks (1960) ha desarrollado un modelo que caracteriza adecuadamente estos procesos. La dispersión horizontal después de que la pluma emerge a superficie se calcula según Brooks (1960) se muestra en la ecuación 5:

$$S_h = \sqrt{\frac{(1 + \frac{13t}{b^3})^3 - 1}{1.5}} \quad (5)$$

Donde:

t: tiempo de recorrido de la mancha deducido a partir de la longitud de la trayectoria del contaminante (s).

b: ancho de la descarga emergiendo a la superficie, el cual para una descarga por un puerto único se puede calcular con la ecuación 6 presentada a continuación:

$$b = H\{0.3 + 0.4(\frac{U}{U_d})^{\frac{1}{3}}\} \quad (6)$$

Donde:

H: profundidad de vertido (m).

U_d: velocidad de la descarga (m/s).

U: velocidad media de las aguas receptoras (m/s).

Para el caso de puertos múltiples (n) se puede aplicar la ecuación 7 y 8 presentada a continuación:

$$b = \frac{n - 0.845}{2} (\frac{H}{3}) \cos(60 - \alpha) \quad (7)$$

$$L_d = (n - 0.845) \frac{H}{3} \quad (8)$$

Donde:

n: número de orificios.

L_d: longitud del difusor (m).

α: ángulo que forma el punto de la unión del emisor con el difusor y la línea de playa.

En la Figura 6, se muestra los elementos geométricos de un diseño del emisor y difusor submarino de una manera general.

Para cuando no se dispone de mediciones reales, Verbestel y Leonard-Etienne (1981) recomiendan utilizar un valor de 0.15 m/s que considera las corrientes de marea y oleaje.

1.6.4 Dilución total

La dilución total es obtenida como resultado de los tres procesos descritos anteriormente, y se calcula simplemente como el producto de tales diluciones, la cual se presenta en la ecuación 9:

$$S_T = S_m * S_b * S_h \quad (9)$$

Donde:

S_T : dilución total.

S_m : dilución inicial.

S_h : dilución horizontal.

S_b : desaparición o muerte de coliformes.

Como se mencionó líneas arriba la dilución total se obtiene multiplicando las tres diluciones, pero dependiendo del diseño de vertido por un solo puerto o bien por sistema difusor, y los factores S_b y S_h . La concentración máxima permitida al final de los procesos debe cumplir con las normas de calidad del agua establecidas para las zonas costeras. A continuación, se presenta la Figura 6, la cual muestra las variables involucradas en el emisor submarino, así como en el difusor. Para Abessi y Roberts nos menciona que el efecto de la turbulencia de agua receptor aumenta de una manera exponencial la dilución del efluente (Abessi & Roberts, 2018).

Figura 6. Variables y elementos geométricos para el diseño del emisor y difusor submarino.

Actualizado al: 20/12/2007.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007).

1.7 Tipos de aguas descargadas

El tipo de las aguas residuales de una sociedad depende del tipo de sistema de captación de aguas residuales que se utilice y puede incluir los siguientes componentes.

- Agua residual doméstica: Procedente de zonas residenciales, instalaciones deportivas, comerciales, públicas y similares.
- Agua residual industrial: Aquella en la que predominan los vertidos provenientes de industrias.
- Infiltración y aportaciones incontroladas: La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
- Aguas pluviales: Agua resultante de los escurrimientos superficiales.
- Aguas residuales termales: Una descarga de agua térmica se define como aquella en la que la disposición de calor es el propósito primario; el calor proviene de un intercambiador antropogénico y los contaminantes adicionales presentes se originan a partir de aditivos, tratamientos y anticorrosivos adicionados en el sistema más que en el proceso de manufactura.

- Descargas salinas: El incremento en la salinidad del agua puede deberse a diversas actividades humanas. Por ejemplo, en las refinerías de petróleo se generan aguas con altos contenidos de sal ($\approx 120,000$ ppm) como resultados del proceso de lavado y separación de las aguas del aceite. Estas aguas de desecho se vierten sea al subsuelo o se dispone de ellas en el mar a través de un emisor submarino. Por otro lado, al pasar el agua por un sistema municipal, incorpora inevitablemente, sales de diversos procesos, como, por ejemplo: la recarga de suavizantes con cloruro de sodio.

1.7.1 Origen de las aguas residuales domésticas

- Zonas residenciales: Generalmente la determinación de los caudales de aguas residuales se realiza en base a la densidad de población y a la contribución a las aguas residuales por habitante, empleando valores típicos.
- Zonas comerciales: La obtención de los caudales de agua residual generados en zonas comerciales se basa en la comparación con datos de zonas existentes o de futura implantación, expresándose usualmente en ($m^3/ha \cdot d$). Los valores típicos oscilan entre 7.5-14 ($m^3/ha \cdot d$).
- Centros institucionales: Los caudales de agua residual doméstica que se generan en instituciones públicas, varían considerablemente en función de la región, el clima, y el tipo de institución.
- Espacios y centros de recreo: Los caudales que se generan en este tipo de instalaciones varían de manera muy marcada en función de la época del año, dado que su actividad es fundamentalmente de temporada.

1.7.2 Origen de las aguas residuales industriales

Los caudales de aguas residuales producidas por las diferentes industrias dependen de distintos factores como: tipo y tamaño del centro industrial, el grado de reutilización del agua y el pretratamiento que se dé al agua utilizada, en caso de que exista alguno. En zonas industriales donde no se empleen procesos húmedos, los valores típicos de proyecto de los caudales se sitúan en el intervalo de 9 a 14 ($m^3/ha \cdot d$) para zonas de escaso desarrollo industrial y, para zonas con un desarrollo industrial medio, valores de 14 a 28 ($m^3/ha \cdot d$) (CONAGUA, 2007).

Las aguas residuales descargadas por operaciones industriales son, en algunos casos la mayor causa de contaminación del agua. Aunque la naturaleza de los contaminantes asociados con este tipo de aguas residuales varía entre industrias, en la mayoría de los casos los problemas que se originan son causados por una o la combinación de varias de las siguientes condiciones:

- Alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Alta concentración de sólidos suspendidos (SS).
- Presencia de sustancias tóxicas.

1.8 Características ambientales

Se refiere a las características físicas que influyen directamente en el estudio del mar, el cual recibe las descargas de agua tratada del emisor submarino.

1.8.1 Batimetría

Para el diseño del emisor submarino es necesario conocer la profundidad del lecho marino o plataforma continental. Las curvas de nivel que se encuentra bajo el mar se denomina batimetría del área. Para la zona costera y marina existen cartas batimétricas las cuales dan una idea de las características del fondo marino, sin embargo, no proveen de los detalles suficientes para el diseño del emisor submarino. El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) cuenta con la carta batimétrica de la Zona Económica Exclusiva de Perú a escala de 1:1 000 000. Asimismo, la Marina de Guerra del Perú publica cartas batimétricas a una escala más detallada de las principales rutas de navegación, sin embargo, datos cercanos a la costa son escasos.

Por otro lado, para el diseño del emisor se requiere información actual y minuciosa de la profundidad de la zona costera por lo que será indispensable llevar a cabo mediciones alrededor del sitio. La cantidad de datos requeridos dependerá de las características del proyecto. Las batimetrías son referidas al nivel medio del mar (NMM) y este se establece a partir de los datos obtenidos de las diferentes mareas. A partir del NMM se establece también la línea de costa. Finalmente, con la batimetría de la zona de descarga se podrá establecer algunas características de diseño del emisor tal como su longitud y forma.

1.8.2 Datos Oceanográficos

El diseño y ubicación de emisores submarinos en las costas está determinado por las condiciones ambientales de la zona costera. Las condiciones ambientales determinan la capacidad de transporte y dilución del sistema, por lo tanto, es de gran envergadura reconocer y cuantificar estos procesos en el área en donde se ubicará el emisor. Se demuestra que los primordiales procesos físicos que determinan la dinámica de la zona costera son: el forzamiento de la marea, el esfuerzo del viento, el oleaje, los gradientes de densidad y las descargas o plumas de los ríos. La suma de los procesos mencionados determina las condiciones locales de las corrientes y procesos de mezclado para el área de estudio. Asimismo, existen otros factores que pueden contribuir significativamente al flujo como son la morfología costera y la batimetría tal como áreas someras semi cerradas (CONAGUA, 2007).

1.8.2.1 Salinidad

El agua de mar es una mezcla de 96.5% de agua pura y de 3.5% de otros materiales tales como sales disueltas, gases disueltos, sustancias orgánicas y partículas no disueltas. Las presencias de sales en el agua de mar modifican en cierta forma las propiedades físicas del agua de mar (densidad, compresibilidad, punto de congelamiento, temperatura) pero no las determinan. En el océano la salinidad varía entre los 34 y 38‰. El símbolo ‰ indica “partes por mil”, por lo que si el agua de mar contiene un 3.5% este es equivalente a 35‰ o 35g de sal por kilogramo de agua de mar. En promedio la salinidad en el océano es cercano a los 35‰. Inicialmente la salinidad se determinaba en base al contenido de cloruros mediante titulación química. Actualmente las técnicas de medición de la salinidad se basan en la conductividad, temperatura y presión. Es por lo que, desde 1978, se establece la Escala Práctica de Salinidad en función de la razón de conductividad. En esta definición la salinidad es una razón y por lo tanto el símbolo ‰ ya no se usa. Sin embargo, un valor anterior de 35‰ corresponde a uno de 35 en la escala práctica de salinidad. Asimismo, se acostumbra a escribir como 35 ups (unidades prácticas de salinidad) que no es necesario, ya que la salinidad práctica es una razón y por lo tanto no tiene unidades (CONAGUA, 2007).

La Figura 8 representa gráficamente la salinidad frente a las costas de Sudamérica ente 5°N y 25°S y entre la costa y 90°W, de las cuales se presenta la variación de Salinidad Superficial del mar (UPS).

1.8.2.2 Temperatura

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) y la Salinidad Superficial del Mar (SSM) son dos de las peculiaridades más interesantes del mar peruano. Con ambas características se origina las distintas gradientes zonales y meridionales con mayor presencia en los meses de febrero y marzo, donde en la ciudad de Pisco la temperatura de máximo valor es de 26°C. No obstante, en la parte sur se presentan temperaturas mínimas que oscilan entre los 13°C y 17°C durante los meses de agosto y setiembre. Ello, debido a la intensa variación de los vientos y afloramiento costero (IMARPE, 2019d). Por otro lado, el IMARPE (2017), menciona que “la salinidad del mar peruano presenta concentraciones de 33.2 a 35.6 UPS en verano y de 33.8 a 35.4 UPS en invierno”. Estas variables indispensables posibilitan reconocer, entender y anticipar cambios de corto y largo plazo, debido a ello estos parámetros controlan la densidad del mar. Los registros de ambas características son realizados mediante métodos directos como el CDT, botellas Niskin, boyas oceanográficas, perfiladores y gilders). Asimismo, es monitoreado través de tecnología satelital (IMARPE, 2017).

En la Figura 7 se representan gráficamente la temperatura frente a las costas de Sudamérica ente 5°N y 25°S y entre la costa y 90°W, de las cuales se presenta Temperatura Superficial del Mar (°C), Anomalías de la TSM (°C), respectivamente.

Figura 8. Temperatura Superficial del mar (°C).
 Actualizado al: 29/05/2019.
 Fuente: Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2019d).

Figura 7. Salinidad Superficial del mar.
 Actualizado al: 29/05/2019.
 Fuente: Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2019d)

1.9 Capacidad hidráulica

1.9.1 Pérdida de carga total por fricción

1.9.1.1 Pérdida de carga lineal

La pérdida de carga h_L representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería. La pérdida de carga se produce por la viscosidad y se relaciona directamente con el esfuerzo de corte de la pared del tubo (Çengel & Cimbala, 2006a). Además, se representa por medio de la ecuación 10 presentada de la siguiente forma:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

ΔP_L : Pérdida de presión.

ρ : Densidad del fluido.

g : Gravedad de la tierra.

f : Factor de fricción.

L : Longitud de la tubería.

D : Diámetro de la tubería.

V_{prom} : Velocidad promedio del fluido dentro de la tubería.

Se puede diferenciar dos situaciones distintas, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento. Las ecuaciones 11 y 12 son para hallar el factor de rozamiento y el número de Reynolds para un flujo laminar, también conocida como ley de Hagen-Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (11)$$

$$Re = \frac{2\rho v_s R}{\eta} \quad (12)$$

Donde:

f : Factor de fricción lineal.

Re: Número de Reynolds.

P: Densidad del fluido.

η : Viscosidad dinámica.

R: Radio externo del tubo.

v_s : Velocidad media del fluido a lo largo del tubo.

En esta forma la ley aproxima el valor del factor de fricción, la energía disipada por la pérdida de carga, el factor de pérdida por fricción f en flujo laminar a muy bajas velocidades en un tubo cilíndrico (Çengel & Cimbala, 2006b).

En el caso de flujo turbulento se puede usar la ecuación de Colebrook-White además de algunas otra cómo ecuación de Barr, ecuación de Miller, ecuación de Haaland.

La expresión de la fórmula de Colebrook-White (1939) se evidencia mejor en la ecuación 13 que se presenta a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2. \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (13)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

k/D : Rugosidad relativa.

f : Factor de fricción lineal.

El campo de aplicación de esta fórmula 19 se encuentra en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento y flujo turbulento. Para la obtención de f es necesario el uso de métodos iterativos.

La caída de presión ΔP es igual a la pérdida de presión ΔP en el caso de una tubería horizontal, pero éste no es el caso para tuberías inclinadas o tuberías con áreas transversales variables (Çengel & Cimbala, 2006c). Esto se puede demostrar con la ecuación de energía para flujo unidimensional incompresible estacionario en términos de cargas como se presenta en la ecuación 14:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_{bomba,u} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{turbina,e} + h_L \quad (14)$$

Donde:

P : Presión dentro de la tubería.

ρ : Densidad del fluido.

g : Gravedad de la tierra.

α : Factor de corrección de energía cinética o el coeficiente de coriolis.

V : Velocidad del fluido

Z : Cota piezométrica.

$h_{bomba,u}$: Carga de bomba útil entregada al fluido.

$h_{turbina,e}$: Carga de turbina extraída del fluido.

h_L : Pérdida de carga irreversible.

La ecuación 15 se puede reordenar como la nueva ecuación 25:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho(\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2)}{2} + \rho g [(Z_2 - Z_1) + h_{turbina,e} - h_{bomba,u} + h_L] \quad (15)$$

En consecuencia, la caída de presión $\Delta P = P_1 - P_2$ y la pérdida de presión $\Delta P_L = \rho g h_L$ para un tramo de flujo dado son equivalentes si:

- 1) El tramo de flujo es horizontal de modo que no existen efectos hidrostáticos o de gravedad ($Z_1 = Z_2$).
- 2) El tramo de flujo no incluye algún dispositivo que produzca o consuma trabajo como una bomba o turbina, porque ellos cambian la presión del fluido ($h_{turbina,e} = h_{bomba,u} = 0$)
- 3) El área de sección transversal del tramo de flujo es constante y, por lo tanto, la velocidad de flujo promedio es constante
- 4) Los perfiles de velocidad en las secciones 1 y 2 tienen la misma forma ($\alpha_1 = \alpha_2$).

Coeficiente de Coriolis

Como resultado de la distribución no uniforme de velocidades en una sección de canal, la altura de velocidad de un flujo en canales abiertos es por lo general mayor que el valor calculado de acuerdo con la expresión $V^2/2g$ donde V es la velocidad media. Cuando se

utiliza el principio de energía en cálculos, la altura de la velocidad real puede expresarse como $\alpha V^2/2g$ (Çengel & Cimbala, 2006d).

El coeficiente de Coriolis α aparece en la ecuación 16, representa la relación que existe, para una sección dada, entre la energía real y la que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades.

$$\alpha = \frac{\int V_h^3 * dA}{V^3 * A} \quad (16)$$

Dónde:

V_h : Componente vertical de la velocidad a una profundidad h .

dA : Diferencial de área correspondiente a la velocidad V_h .

V : Velocidad media.

A : Área total.

El uso del coeficiente de Coriolis depende de la exactitud con que se estén haciendo los cálculos, en muchos casos se justifica considerar: $\alpha = 1$, siendo un valor límite utilizado generalmente en secciones transversales de alineación casi recta y tamaño regular; en este caso la distribución de la velocidad será estrictamente uniforme.

1.9.1.2 Pérdidas de carga singulares

1.9.1.2.1 En la salida del depósito

En la unión de la cámara de carga y la tubería existe una pérdida de carga, con un coeficiente de pérdidas en los diferentes accesorios presentes en la tubería que bombea el efluente hacia el emisor, los cuales se muestran en la Tabla 4. Además, se presenta la ecuación de pérdida singular se presenta en la ecuación 17.

$$h_L = K_L * \frac{V^2}{2g} \quad (17)$$

Dónde:

h_L : Carga de pérdida menor.

K_L : Coeficiente de pérdida menor.

V: Velocidad media.

g: Gravedad de la tierra.

Tabla 4.
Coefficientes de pérdida K_L de accesorios de tubería de cámara de bombeo al emisor submarino para flujo turbulento.

Entrada de la tubería Reentrante: $K_L = 0.80$ ($t \ll D$ e $I \approx 0.1D$)	De borde agudo: $K_L = 0.50$	Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$ Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$
---	---	--

Fuente: Cengel & Cimbala (Çengel & Cimbala, 2006e).

1.9.1.2.2 En la derivación

La pérdida se genera en base a la traslación de fluido entre los cuales se presentan los siguientes parámetros: velocidad del fluido en la tubería, diámetro de la tubería y caudal dentro de la tubería. En la Tabla 5, se muestra el coeficiente de pérdida en la derivación del caudal por medio de las tuberías (Cengel & Cimbala, 2012f).

1.9.1.2.3 En el codo

Situado en el elevador de 5m justo antes de la boquilla con la válvula anti-retorno. El valor de ‘K’ dependerá del codo que se va a utilizar, siendo la pérdida localizada presentada en la Tabla 6.

Tabla 5.
Coefficientes de pérdida K_L de accesorios de tubería de derivación en el emisor submarino para flujo turbulento.

Conexión en T (flujo derivación):	Conexión en T (flujo derivación):
Embridado: $K_L = 1.0$	$K_L = 0.5$
Roscado: $K_L = 2.0$

Fuente: Cengel & Cimbala y Pressman (Çengel & Cimbala, 2006d).

Tabla 6.

Coefficientes de pérdida K_L de accesorios de codo de la tubería para flujo turbulento.

<p>Codos y ramificaciones Codo suave de 90°:</p> <p>Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p>	<p>Codo esquinado de 90° (sin álabes directores):</p> <p>$K_L = 1.1$</p>
<p>Codo esquinado de 90° (con álabes directores):</p> <p>$K_L = 0.2$</p>	<p>Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$</p>

Fuente: Cengel & Cimbala (Çengel & Cimbala, 2006d).

1.9.1.3 Pérdida de carga en el difusor

La pérdida de carga se genera en base a la velocidad del chorro a través de la válvula de retención como se muestra en la Figura 9 y con ella se calcula el coeficiente 'K'. La ecuación 18 es la pérdida de carga que genera el fluido al pasar por la válvula duckbill y la ecuación 19 es el coeficiente de pérdida de carga de la válvula anti-retorno (Villa Alonso, 2015).

$$h = 0.182 * v_2 + 0.183 \quad (18)$$

$$k = \frac{h}{\left(\frac{v_2^2}{2g}\right)} = \frac{0.182 * v_2 + 0.183}{\left(\frac{v_2^2}{2g}\right)} \quad (19)$$

Figura 9. Válvula anti-retorno para masas de agua tipo Duckbill.
Fuente: Adrián Villa Alonso (Villa Alonso, 2015)

Dónde:

h: Carga de pérdida menor.

k: Coeficiente de pérdida menor.

v_2 : Velocidad del efluente al salir del difusor

En la figura 10, se muestra la válvula anti-retorno tipo Duckbill colocada en el tubo elevador del emisor submarino entre los lastres que libera la presión que ejerce el fluido a la tubería y no permite el ingreso de salmuera (Villa, 2015).

Figura 10. Duckbill de 250 mm en el emisor submarino de Viña del Mar, Chile.
Fuente: Adrián Villa Alonso (Villa Alonso, 2015).

Además de la pérdida de carga por la válvula tipo pico de pato, también se considera la pérdida de carga por el difusor, se presenta en la ecuación 20:

$$Q = Cd * A * (2 * g * h)^{0.5} \quad (20)$$

En donde:

Q: Caudal en m³/seg.

g: Gravedad.

C_d: Coeficiente de descarga.

A: Área del orificio de salida.

h: pérdida de carga en el orificio.

1.9.1.4 Pérdida de carga en el vertedero

En este caso se tiene una cámara de carga que es igualado con un vertedero de descarga libre sin contracciones, se puede observar en la figura 19, y podemos aplicar la fórmula de Sotelo, que se presenta en la ecuación 21 (Sotelo Davila, 1982).

$$Q = (2/3) * (2g)^{0.5} * Cd * L * H^{3/2} \quad (21)$$

En donde:

Q: Caudal.

g: Gravedad.

C_d: Coeficiente de descarga.

L: Ancho del vertedero.

H: Altura de agua sobre el vertedero.

Figura 11. Simulación de la cámara de carga por un vertedero de pared delgada
Fuente: Michael J. Duer y Henry J. Salas (Duer & Salas, 1996).

1.9.1.5 Pérdida por diferencia de densidad

La cota que se dará a los embalses en el programa será en función a la pérdida de carga por causa de la diferencia de densidad que hay entre el efluente y el agua salada. Estas pérdidas dependen de la profundidad a la que está situada la boca de descarga, es decir, la altura de agua que tenga sobre sí el punto de salida y del gradiente de densidad entre ambos fluidos. La ecuación 22 nos muestra la pérdida de carga que fluido por medio de la diferente de densidad del fluido con el agente receptor y la profundidad de descarga (Villa Alonso, 2015).

$$h = \Delta\rho * H = \left(\frac{\rho_{\text{aguasalada}} - \rho_{\text{efluente}}}{\rho_{\text{efluente}}} \right) * H \quad (22)$$

En donde:

H: La profundidad a la que esté la boca de descarga respecto del nivel del mar.

$\rho_{\text{agua salada}}$: Densidad de agua del océano.

ρ_{efluente} : Densidad del agua residual tratado.

1.9.1.6 Pérdida por diferencia de mareas

Para la consideración de la pérdida por diferencia de mareas se debe tener en consideración en aumentar la altura máxima de marea o la pleamar máxima, para que el emisor submarino pueda descargar en las condiciones más extremas de la marea. Para ello, se debe tener los

registros del nivel de marea que la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú mide constantemente durante todo un día (DHN, 2015).

1.9.2 Tuberías de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

Con respecto al Manual Técnico Tubería HDPE Minería e Industria (2011), las tuberías de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) son fabricados a partir de polietileno. Además, son empleados por muchos usuarios, debido a sus diversas ventajas que presenta como producto final.

- Ventajas

Los sistemas de tubería HDPE brindan a los usuarios un valioso ahorro en:

- Resistencia externa al impacto, golpes y terreno pedregoso

La tenacidad de la tubería derivada de las propiedades físicas tanto del material como del método de extrusión, le permite absorber sobrepresiones, vibraciones y tensiones causadas por los movimientos de terreno e imprevistos, la tubería puede deformarse sin daño permanente y sin causar efectos adversos sobre la vida útil (SEDAPAL, 2019).

- Flexibilidad

La tubería HDPE es flexible por lo que puede curvarse y absorber cargas de impacto en un amplio rango de temperaturas. Se puede enrollar, aplastar, doblar y ser curvado, así como también hacer elevaciones y cambios direccionales (SEDAPAL, 2019).

- Resistencia a sustancias químicas

No es conductor eléctrico por lo que no es afectado por oxidación, corrosión o acción electrolítica. No permite el crecimiento ni es afectado por algas, bacterias u hongos (SEDAPAL, 2019).

- Servicio a largo plazo

La vida útil estimada tubería para las tuberías de HDPE es superior a 50 años para el transporte de agua a temperatura ambiente (20°C) (SEDAPAL, 2019).

- Estabilidad a la intemperie

La tubería cuenta con protección contra los rayos ultravioleta (UV) para minimizar la degradación producida por estos en el tiempo. La tubería contiene 2.5% de negro de humo, por lo que puede ser instalada y almacenada a la intemperie en la mayoría de los

climas por tiempos prolongados sin que sufra ningún daño o pérdida de propiedades físicas por exposición a los rayos ultravioleta (SEDAPAL, 2019).

- Bajo peso

La tubería HDPE es más liviana que la mayoría de las tuberías fabricadas con otros materiales. Flota en el agua y pesa entre 70-90% menos que el concreto, fierro o acero, haciendo más fácil su manejo e instalación (SEDAPAL, 2019).

- Rápida instalación

La tubería HDPE en diámetros menores puede ser fabricada en rollos de hasta 100 metros de longitud dependiendo del diámetro, en consecuencia, requiere menor cantidad de uniones y reduce los costos de mano de obra para su instalación (SEDAPAL, 2019).

- Resistencia a la abrasión

La tubería HDPE tiene un buen comportamiento en la conducción de materiales altamente abrasivos, como las colas o relaves mineros. Numerosos ensayos han demostrado que la tubería HDPE tiene un mejor desempeño en este tipo de servicio con una relación de 4:1 con respecto a la tubería de acero (SEDAPAL, 2019).

- Desventajas

- Resistencia a la temperatura del agua limitada

Para aplicaciones con presión que funcionen a una temperatura de funcionamiento constante superior a 20°C y hasta 40°C, se han de aplicar los coeficientes de reducción de presión indicados, es decir, multiplicando la presión nominal (PN) por el coeficiente (fT) obtenemos la presión de funcionamiento admisible (PFA) que es la presión hidrostática máxima que un componente es capaz de soportar continuamente en servicio (SEDAPAL, 2019).

- Ovalación

Es una característica propia de los tubos de PE, debido a su bajo módulo de elasticidad y al hecho de que se puedan suministrar en rollos, pero no deja de ser un engorro sobre todo a la hora de realizar la unión de 2 tubos ya sea con accesorios mecánicos, soldadura a tope o electrofusión (SEDAPAL, 2019).

- Propagación rápida de fisuras

Los materiales de polietileno tienen una limitación al uso en función del resultado obtenido en el ensayo de Propagación Rápida de Fisuras, S4 (Small Scale Steady State). Esta limitación es en espesor y en presión nominal, y afecta sobre todo a los tubos de gran diámetro y espesor para prevenir los problemas durante el proceso de producción de “decuelgamiento” o “sagging” (SEDAPAL, 2019).

- No se pueden pegar ni roscar

A diferencia de otros tubos de diferente material, los tubos de PE no se deben roscar ni tampoco pegar, ya que hasta el momento no se ha descubierto un pegamento o adhesivo con garantías para resistir durante un mínimo de 50 años la tensión originada en la unión (SEDAPAL, 2019).

- No se puede abocardar

Se puede abocardar, pero la embocadura no se mantiene en el tiempo debido al efecto memoria térmica que tiende a volver la embocadura a su posición original (SEDAPAL, 2019).

- Alto coeficiente de dilatación

Los tubos de PE tienen una buena capacidad de aislamiento térmico, siendo su Coeficiente de Conductividad de 0.36 kcal/m.°C, lo que reduce el riesgo de rotura frágil en caso de heladas. Cuando el agua se hiela en el interior de una tubería aumenta de volumen y por tanto su diámetro, sin llegar a romperse, recuperando después del deshielo su diámetro original. Potencial de fisuras. Alto grado de expansión térmica. Escasas propiedades de esfuerzo multiaxial. A pesar de los muchos beneficios asociados con las tuberías de polietileno, este tipo de tubo no es resistente a los ácidos oxidantes, las cetonas y a los hidrocarburos clorados, de acuerdo con Manufacturers Monthly (SEDAPAL, 2019).

1.9.3 Eje hidráulico

Es el cálculo asociado al sistema proyectado, mediante la verificación de las condiciones de escurrimiento de agua en los diversos elementos que han sido considerados, entre el vertedero de salida del desarenador de la PTPAS hasta difusor del emisor submarino (Villa Alonso, 2015).

1.9.4 Configuración

La configuración se refiere a las actividades a la que se somete el emisor submarino para su correcto funcionamiento. Esto conlleva al tratamiento de aguas residuales por medio de un tratamiento preliminar avanzado que conlleva a tratar un caudal máximo de $11.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.9.5 Calibración

La calibración de modelo de dispersión se realiza por los experimentos realizados por la United States Environmental Protection Agency (US EPA) para ver el movimiento que va a tener el fluido en un cuerpo de agua mayor.

1.10 Medios tecnológicos para desarrollar la investigación

1.10.1 Software Visual Plumes

Ha sido desarrollado por la United States Environmental Protection Agency (US EPA) e incluye diferentes modelos para la simulación del comportamiento de vertidos, algunos de los cuales coinciden en su ámbito de aplicación y funciones, lo que permite al usuario comparar los resultados de los distintos modelos. Los modelos Visual Plumes tienen en cuenta las condiciones en el medio receptor (corrientes, densidad, temperatura y salinidad) que, en este caso, pueden ir variando a lo largo de la columna de agua (Magrama, 2014). El Visual Plumes utiliza los códigos correspondientes para efluentes flotabilidad positiva. La Tabla 7 muestra un esquema de los modelos incluidos en el software Visual Plumes. Para este caso, se va a utilizar el modelo de ecuación integrada UM3 por el motivo que se puede generar vertidos mediante chorro individual o tramo multidifusor.

1.10.1.1 Descripción del modelo UM3 para vertidos mediante chorro individual

UM3 es un modelo lagrangiano tridimensional en el que, asumiendo medio receptor ilimitado y autosemejanza entre secciones, se integran las ecuaciones de gobierno en el tiempo, lo que reduce el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, que el programa resuelve mediante el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden (Walter E. Frick, 2004).

Tabla 7.

Principales modelos que puede generar el software Visual Plumes.

HERRAMIENTAS DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES			
Campo cercano	Modelos basados en análisis dimensional	NRFIELD (RSB)	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido sumergido mediante tramo difusor de chorros múltiples. Dos boquillas por elevador, chorros bilaterales, formando 180° entre sí. • Efluentes de flotabilidad positiva. • Modelo 3D basado en análisis dimensional. Parámetros experimentales derivados de los ensayos de laboratorio de Roberts, 1989 (4)
	Modelos de ecuaciones integradas	DKHW	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo multidifusor. • Efluentes de flotabilidad positiva. • Modelo euleriano tridimensional. • Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
		UM3	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido mediante chorro individual o con tramo multidifusor. • Efluentes de flotabilidad positiva y negativa. • Modelo lagrangiano tridimensional. • Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
		PSDW	<ul style="list-style-type: none"> • Vertidos directos superficiales desde canales, en un medio receptor en movimiento. • Efluentes de flotabilidad positiva. • Modelo euleriano tridimensional
Campo lejano	Ecuación de Brooks	FRFIELD	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de la dilución en campo lejano mediante la ecuación de Brooks. • Efluentes de flotabilidad positiva
Adicionales	DOS PLUMES		<ul style="list-style-type: none"> • Permite aprovechar los casos y resultados obtenidos con la versión anterior del programa: PLUMES.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

El modelo asume que la pluma se encuentra en estado estacionario, lo que en la formulación lagrangiana implica que los elementos sucesivos sigan la misma trayectoria (Walter E. Frick, 2004), por lo que se mantiene siempre la misma envolvente a pesar de que los elementos (rebanadas) dentro de la envolvente evolucionen en el tiempo en su forma y posición. Esto

le permite variar las condiciones de descarga y del medio receptor a lo largo de la ejecución, siempre que la escala de tiempo de la variación sea comparable al tiempo que tarda el elemento descargado en alcanzar el final de la zona de dilución inicial (W.E Frick et al., 2001).

Respecto a la distribución de las variables escalares y vectoriales en la sección transversal, para el caso de un vertido mediante chorro individual, UM3 adopta un perfil uniforme (“Top Hat”), de modo que el valor es el mismo en toda la sección transversal, evolucionando su valor a lo largo de la trayectoria del chorro. Además, el modelo no tiene en cuenta la zona de desarrollo de los perfiles autosemejantes, de modo que aplica las ecuaciones directamente desde la boquilla de salida del chorro.

1.10.1.1.1 Variables axiales de UM3

Se describen el caso de un vertido mediante chorro individual, las principales variables axiales, variables integrales (o flujos), las fuerzas actuantes, las ecuaciones de gobierno y los términos de cierre. La figura 12 y 13 muestran el esquema de vertido utilizado por los modelos de Visual Plumes mediante las variables axiales y de planta que se usa el UM3:

Figura 12. Esquema del vertido simulado por el paquete de programas VISUAL PLUMES de sección transversal de UM3.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

Figura 13. Esquema del vertido simulado por el paquete de programas VISUAL PLUMES de sección en planta de UM3.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

Glosario de parámetros de entrada en UM3:

- H_{∞} : profundidad media, calado en la columna de agua.
- U_{∞} : velocidad de la corriente en el medio receptor. Se considera siempre paralela a la costa.
- ρ_{∞} : densidad del medio receptor. Es posible definirla también mediante la temperatura y la salinidad.
- T_{∞} : temperatura en el medio receptor.
- C_p : concentración inicial, de fondo, en el medio receptor.
- h_0 : altura de la boquilla con respecto al fondo.
- D : diámetro de la boquilla.
- b : semiancho del chorro (radio del chorro).
- h : espesor de la rebanada que se va desplazando.
- A_p : superficie longitudinal de la rebanada de chorro, entre los perímetros correspondientes a un paso de tiempo y al siguiente $A_T = 2\pi b h$
- A_T : superficie transversal de la rebanada de chorro, perpendicular al eje. $A_P = \pi b^2$
- α : coeficiente que regula la incorporación (“entrainment”) de fluido del medio receptor al chorro, a través de su contorno. En el caso de secciones transversales de distribución uniforme, se toma como valor 0.1.
- U : velocidad media de avance de la rebanada de chorro
- m : masa de cada rebanada: $m = \rho \pi b^2 h$.
- C_i : concentración inicial de contaminante en el efluente.

- K: coeficiente de decaimiento de la contaminación.
- g: valor de la gravedad.
- t: tiempo
- E: coeficiente de incorporación (“entrainment”) de fluido del medio receptor al efluente, que incluye un término que considera el impulso inicial del efluente y otro término para considerar la corriente en el medio receptor. Incluye dos términos: E_{amb} , E_{α} .

1.10.1.1.2 Ecuaciones de Gobierno

Las ecuaciones que resuelve UM3 son las ecuaciones de continuidad, de Navier Stokes de conservación de la cantidad de movimiento, y las ecuaciones de transporte del trazador, la ecuación de conservación de la flotabilidad (asumiendo una ecuación de estado lineal) y las ecuaciones de trayectoria, integradas en la sección transversal.

- E. de Continuidad o Conservación de la masa: $\frac{dm}{dt} = E_{amb} + E_{\alpha}$
- E. de Conservación de Cantidad de movimiento: $\frac{dm\bar{U}}{dt} = \bar{U}_{\infty} \frac{dm}{dt} - mg \frac{(\rho_{\infty} - \rho)}{\rho}$
- E. de Conservación de la Energía: $\frac{d[mC_p(T - T_{ref})]}{dt} = C_p(T_{\infty} - T_{ref}) \frac{dm}{dt}$
- E. de Conservación de la masa del Contaminante: $\frac{dmC_i}{dt} = C_{\infty} \frac{dm}{dt} - kmC_i$

En cada paso de tiempo, se calcula la nueva masa correspondiente a la rebanada aplicando: $m_{t+dt} = m_t + (E_{amb} + E_{\alpha})dt$ y se opera de forma análoga con las demás ecuaciones, de modo que se obtienen los nuevos valores de: cantidad de movimiento ($m * \bar{U}$), de energía masa de trazador ($mC_p(T - T_{\infty})$), de masa de trazador (mC_i), etc. De este modo se tiene:

- valor de la masa en el siguiente paso de tiempo: $m_{t+dt} = (\rho\pi b^2 h)_{t+dt}$
- valor del flujo de cantidad de movimiento en el siguiente paso de tiempo: $(m\bar{U})_t + dg = (\rho\pi b^2 h\bar{U})_t + dg$

Se toma como paso de tiempo de la integración: $dt = \frac{ds}{v} = \frac{h}{v}$, que lleva a $\Delta h = \Delta\bar{U}dt$, y a la siguiente relación entre el nuevo espesor y la velocidad: $h_{t+dt} = h_t \left(\frac{U_{t+dt}}{U_t} \right)$.

De este modo, se van obteniendo la trayectoria de la pluma, dimensiones, temperatura, y concentración y dilución media. En cada capa vertical (en que se ha discretizado la columna vertical), se utilizan los valores de velocidad de corrientes, temperatura y salinidad en el medio receptor.

La Figura 14 muestra el desplazamiento de la rebanada en el modelo lagrangiano UM3.

Figura 14. Rebanada desplazándose y definiendo el chorro en el modelo UM3.
Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

1.10.1.1.3 Ecuaciones de Cierre para los términos turbulentos

Para poder resolver numéricamente el sistema de ecuaciones presentado en el apartado anterior, es necesario definir las ecuaciones de cierre que expresan el valor de la incorporación de agua del medio receptor al chorro (“entrainment”). Estas ecuaciones incluyen un término debido al impulso inicial transmitido en la descarga y a la presencia de una corriente en el medio receptor.

En el caso de un chorro individual, para simular la incorporación de fluido del medio receptor al chorro por efecto del impulso inicial transmitido en la descarga, y, por tanto, por la diferencia de velocidades entre el efluente y el medio receptor, UM3 utiliza la formulación del término de aspiración de Taylor: $E_{\infty} = \alpha \rho A_T \bar{U}$. Según esta expresión, el coeficiente de incorporación es directamente proporcional a la velocidad del chorro y al área de contacto transversal del chorro con el fluido receptor.

Para simular la incorporación de fluido del medio receptor al efluente, por presencia de una corriente ambiental, UM3 asume la hipótesis de “Área de dilución proyectada” (“Entrainment Projected Area: PAE”) (W.E Frick et al., 2001). Esta hipótesis cuantifica la entrada de masa de agua receptora en el chorro o pluma, forzada por la presencia de una

corriente en el medio receptor, a través de la cara transversal (A_T) de la rebanada situada frente a la corriente. Para caracterizar el fenómeno tridimensionalmente, se ha generalizado la hipótesis PAE incluyendo un término de incorporación transversal (a través del canto o área longitudinal de la rebanada: A_p), que es perpendicular al vector velocidad en el eje de la rebanada y al vector gravedad. $E_{amb} = \rho A_p \bar{U}$

1.10.1.2 Componentes y opciones del modelo

La Tabla 8 muestra el esquema de las principales variables de entrada (parámetros de descarga, efluente y condiciones en el medio receptor) del modelo UM3, así como los datos de salida:

Tabla 8.

Datos de entrada de alimentación del modelo UM3 y resultados.

DATOS DE ENTRADA DEL MODELO UM3 de VISUAL PLUMES		
Parámetros de descarga y del efluente (salmuera) (DIFFUSER)	Características de la boquilla: Diámetro (Port diameter), altura de la boquilla con respecto al fondo (Port elevation), ángulo de inclinación del chorro (Vertical angle), número de boquillas (Num, of ports), distancia entre boquillas (Port spacing), distancia de la boquilla a la superficie (Port depth), caudal total del efluente (Effluent flow), concentración salina del efluente (effluent salinity), temperatura del efluente (effluent temperature), concentración de contaminante (effluent concentration). Otros: Ángulo horizontal del chorro con respecto al eje “x” (Horizontal. Angle) Longitud de la zona de límites críticos por contaminación aguda (Acute mix zone) Longitud de la zona de límites críticos por contaminación crónica (Chronic mix zone)	
	Los parámetros del medio receptor se insertan por filas, correspondientes a su valor a distintas profundidades. Se discretiza, por tanto, la columna de agua en el medio receptor. Posibilidad de introducir series temporales (Time series files)	
Condiciones ambientales, en el medio receptor (AMBIENT)	Condiciones geométricas	Profundidad media de la columna de agua en la zona de vertido (calado) (measurement depth or height).
	Parámetros físicos	Salinidad del medio receptor (ambient salinity). Temperatura del medio receptor (Ambient Temp). Concentración de fondo, en el M. Receptor (Background concentration).

		Coeficiente de decaimiento del contaminante (Pollutant decay rate). Coeficiente de difusión en campo lejano (Far-field diffusion coefficient)
	Condiciones hidrodinámicas	Velocidad de la corriente en el medio receptor (Current speed). Angulo del corriente receptor respecto al eje x (Current direction)
	Parámetros del ciclo de marea (UM3 tidal pollutant buildup parameters)	
	Opciones de gráficos (Graphic settings)	
	Datos adicionales (Additional model input)	Coeficiente de contracción de boquilla (diffuser port contraction coef), coef. Absorción de luz (Light absorption coeffic); incremento en campo lejano (Far fiel increment), Coeficiente de aspiración UM3 (UM3 aspiration coef), modelo de influencia solar en bacterias (Bacteria model...), modelo transferencia calor (PDS heat transfer).
	Opciones de resultados analíticos (Output settings)	Lista de variables a representar (Selected variables) Número de pasos hasta representación (UM3 output each steps) Máxima dilución representada (Maximum dilution reported) UM3 max. Vertical reversals
RESULTADOS DEL MODELO UM3 de VISUAL PLUMES.		
Resultados analíticos (OUTPUT TEXT)	Para el caso ejecutado (combinación de datos de datos parámetros de descarga: “DIFFUSER” con condiciones ambientales: “AMBIENT”): - Valor y evolución de las variables seleccionadas en “selected variables” (Special settings) con respecto a la trayectoria del eje del chorro. - En la hoja de resultados, en la columna de la derecha respecto a los valores numéricos, Indica el punto de máxima altura del chorro (local maximum rise or fall), la llegada al fondo (Bottom hit) y el punto de interacción entre chorros (Merging).	
Resultados gráficos (OUTPUT GRAPHICS)	Gráficos de elevación de la altura, vista en planta del vertido, densidad del medio receptor y dilución del efluente. Opción de cambiar las variables a graficar. (Style) Escalado general de los gráficos (scale). Se entra a cada gráfico con doble clic. Exportar a formato gráfico (To file), comparar con archivo de datos externo, validación (Verify).	

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

1.10.1.3 Análisis de sensibilidad del modelo frente a variaciones en los parámetros de entrada

Se ha realizado un análisis de sensibilidad del modelo para conocer cómo la variación del valor de los distintos parámetros de entrada (características del efluente, condiciones de descarga y condiciones en el medio receptor) influyen en los resultados obtenidos con UM3. La Tabla 9 resume las principales conclusiones del análisis de sensibilidad de UM3, en el rango de valores de las variables característico de vertidos de salmuera en el Mar Mediterráneo:

Tabla 9.

Síntesis del análisis de sensibilidad de UM3 frente a variaciones de los parámetros de entrada dentro del rango de valores realistas de diseños de vertido en el Mar Mediterráneo.

VARIABLE	SENSIBILIDAD	COMENTARIOS RESPECTO A LOS RESULTADOS DE UM3
Ángulo inclinación chorro	Muy alta	A mayor ángulo, mayor es la cota alcanzada por el chorro y en general la dilución.
Densidad efluente y del Medio receptor ρ_A, ρ_o	Muy Pequeña	A mayor diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor, ligeramente menor es la altura máxima y el alcance del chorro en el punto de impacto, así como menor es la dilución.
Estratificación y Temperatura	Variable	Si el medio es homogéneo (típica situación de invierno/otoño en el Mediterráneo, a las profundidades de vertido) la influencia de la temperatura es pequeña.
Velocidad de la corriente U_A	Muy alta	A mayor valor de la corriente en el medio receptor, mayor es la dilución del efluente. Ejemplo: para la configuración de vertido considerada en el análisis y una corriente en la dirección y sentido del chorro, UM3 estima diluciones en torno a 15 en el punto de impacto en un medio receptor en reposo, mientras que a velocidades superiores (0.3m/s), la dilución estimada es de 30, y velocidades de 0.6m/s es de 25.
Angulo horizontal entre la corriente y chorro σ	Muy pequeña	Se ha analizado la sensibilidad para los ángulos $\sigma = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ (chorro de la misma dirección y sentido, perpendicular y de sentido opuesto a la corriente). Para $\sigma = 0^\circ$, a mayor intensidad de la corriente, menor es la altura máxima del chorro y mayor el alcance hasta el impacto, y la dilución. Para $\sigma = 90^\circ$, el chorro es desviado hacia la dirección de la corriente. A mayor intensidad, menor altura máxima y menor alcance del chorro (Y), pero mayor alcance en dirección de la corriente (X), y mayor dilución.

		Para $\sigma = 180^\circ$, UM3 no se ejecuta, argumentando que existe fenómenos de recirculación, que el modelo no es capaz de simular UM3 estima diluciones significativamente mayores en el caso de corrientes perpendiculares al chorro, respecto al caso de corrientes en la misma dirección y sentido del chorro. Este hecho es contrario a los resultados experimentales obtenidos por diversos autores (Roberts, 1997), donde las diluciones medidas son mucho menores cuando $\sigma=180^\circ$
Número de boquillas N	nula	Para el caso de difusores con una boquilla por elevador, para las mismas características de chorro, si se modifican la longitud del difusor y el número de boquillas, manteniendo la misma separación, el número de boquillas no influye en el comportamiento del chorro.
Calado en el medio receptor H_A	Nula	Si el chorro no interacciona con la superficie, la altura de la columna de agua por encima del efluente NO influye en el comportamiento de este. En el caso de que el chorro alcance la superficie, el modelo deja de ejecutarse, dado que la interacción con los contornos invalida la hipótesis de medio receptor ilimitado, que se asume en los modelos de ecuaciones integradas.
Altura boquilla sobre el fondo h_o	Muy pequeña	A mayor altura de la boquilla, ligeramente mayor es también la altura máxima alcanzada por el chorro, y la dilución.
Separación entre boquillas s	Nula o muy pequeña	Si los chorros que NO interaccionan entre sí antes de alcanzar el fondo, la separación entre boquillas no influye en el comportamiento del chorro. En el caso de que sí se produzca interacción entre chorros, los resultados de UM3 indican que a mayor separación entre boquillas, mayor es el alcance del chorro en el punto de impacto y ligeramente menor es la dilución, mientras que no varía la altura máxima del chorro. Sin embargo, estas variaciones son muy pequeñas con respecto a lo resultados que se obtienen en caso de no interacción entre chorros.
Configuración del difusor	Variable	El modelo UM3 no permite la opción de simular diferentes tipos de configuraciones del dispositivo de vertido. En todos los casos asume un difusor recto, con elevadores de una boquilla, chorros unidireccionales, vertiendo perpendicularmente al tramo difusor, todos con la misma inclinación de chorro. De acuerdo con lo anterior no ha sido posible realizar un análisis de sensibilidad con respecto a este parámetro.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama, 2014).

2 METODOLOGÍA

2.1 Material

2.1.1 Población

La población definida para esta investigación se encuentra delimitada por todas las plantas de tratamiento de aguas residuales y empresas prestadoras de servicios de Lima. Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2012, Lima genera aproximadamente 1 202 286 m³ por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS). El 21,2% de estas recibe tratamiento, de los cuales cada habitante en Lima genera 145 litros de aguas residuales al día(OEFA, 2014). En la Figura 15 se evidencia gráficamente en total de aguas residuales generadas en Lima Metropolitana y el total tratado en el 2012 según la OEFA.

Figura 15. Generación de aguas residuales y aguas residuales tratadas en Lima Metropolitana (m³/día).
Fuente: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014).

Asimismo, para ese año en Lima Metropolitana existían 43 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), 21 de ellas administradas por SEDAPAL, 14 por municipalidades distritales y el resto por otros, como universidades, colegios, clubes, etc. Estos datos se pueden evidenciar gráficamente en la Figura 16.

Figura 16. Número de plantas de tratamiento por operadores en Lima Metropolitana.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestra los diferentes tipos de tecnologías que utilizan las PTAR para tratar este tipo de fluidos operadas por SEDAPAL en Lima. Entre ellos se utilizan: sistemas anaerobios-aerobios, lodos activados, lagunas aireadas, sistemas anaerobios-aerobios, lagunas de oxidación, filtro percolador y preliminar avanzado (SEDAPAL, 2017). Además, en la Figura 18 muestra las cantidades de aguas tratadas con respecto a las tecnologías usadas.

Figura 17. Número plantas de tratamiento en Lima Metropolitana operadas por SEDAPAL con las tecnologías empleadas en cada una.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Volumen de aguas tratadas según tipo de tecnología usada en la PTAR (m³/día)
Fuente: Elaboración propia.

Esta cifra es alarmante, el déficit de tratamiento de aguas residuales se debe a que la infraestructura de las PTAR es insuficiente para los volúmenes diarios generados.

En el centro de la ciudad de Lima Metropolitana se encuentran 5 PTAR que tratan entre 1 a 500 l/s (OEFA, 2014). Entre ellas tratan una buena cantidad de aguas residuales que se genera entre los distritos de Ate Vitarte, Pachacamac, Cieneguilla, San Juan de Lurigancho y Ate Vitarte. De los cuales se evidencia en la Figura 19 que la PTAR Carapongo es la que trata la mayor cantidad de fluidos a comparación de las otras plantas.

Figura 19. Plantas de Tratamientos de Agua en Centro de Lima Metropolitana – 2016.
Fuente: Elaboración propia.

En el sur de la ciudad de Lima Metropolitana se encuentran 11 PTAR que tratan aguas residuales de 8 distritos, de las cuales son Chorrillos, San Bartolo, Lurín, Punta Hermosa,

Pucusana, Villa el salvador y San Juan de Miraflores (OEFA, 2014). Se evidencia en la Figura 20, de las cuales 8 plantas procesan una cantidad pequeña a comparación de las plantas San Bartolo zona norte, San Bartolo zona sur y La Chira que su nivel de tratamiento asciende a 879 y 5320 l/s, respectivamente.

Figura 20. Plantas de Tratamientos de Agua en Sur de Lima Metropolitana – 2016.
Fuente: Elaboración propia.

En la zona norte de la ciudad de Lima Metropolitana se encuentran 5 PTAR que tratan entre los 5 hasta los 3250 l/s (OEFA, 2014). Se evidencia en la Figura 21, de las cuales 4 de ellas procesan menos de 300 l/s y una planta que trata 3250 l/s llamada Taboada.

Figura 21. Plantas de Tratamientos de Agua en Norte de Lima Metropolitana – 2016.
Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Muestra

Para realizar el proceso de análisis en esta investigación, se obtuvo datos representativos del volumen de agua que ingresa a la PTAR La Chira para analizar el tipo de elementos que existe en el mismo. Además, para tratar las aguas residuales entran en unos procesos para

eliminar las impurezas sólidas. Estos fluidos se emiten a una cierta distancia de la costa para no afectar la vida costera humana y animal. También, verificando que la densidad del fluido se convine con la densidad del agente receptor para que esto no se han afectado. En la Figura 22, se muestra los caudales de aguas recicladas tratadas por la PTAR La Chira, PTAR Taboada y otras plantas de tratamientos de aguas residuales que funcionan en Lima Metropolitana.

Figura 22. Porcentaje de caudal en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – 2016.
Fuente: Elaboración propia.

La PTAR La Chira consiste en la construcción de una planta de tratamiento de desagües, del tipo tratamiento preliminar avanzado, con capacidad promedio de 6.3 m³/s, picos máximos de 11.3 m³/s y un volumen anual de 356 356 800 m³; y un emisor submarino de 2,400 mm de diámetro en una longitud de 3 645 m de los cuales 100 m corresponde al tramo terrestre, 150 m se ubicarán en la zona de rompientes, 600 se ubicarán en el mar hasta una profundidad de 25.0 m y 2,750 m en el mar a una profundidad de 60 m, el cual está previsto de un difusor de 500 m. Las aguas residuales serán acondicionadas en la planta de tratamiento de desagües, previo a su descarga a través del emisor submarino, que contará con difusores para la mezcla y dilución del desagüe con las aguas de mar, de manera que se cumpla con los parámetros de calidad exigidos en la zona costera del cuerpo receptor según la Resolución Directoral N° 002-2013-ANA-DGCRH (ANA, 2013a).

Los desagües que llegan a la planta provienen principalmente de (02) colectores importantes que son:

- Colector Surco, que recibe la descarga de los colectores primarios Mendoza, San Borja y Javier Prado, los cuales a su vez recolectan los desagües producidos en los distritos de Santiago de Surco, Barranco, San Juan de Miraflores, Chorrillos y parte de los distritos de La Victoria, San Borja, San Isidro, Miraflores (SEDAPAL, 2012).
- Colector Circunvalación, que recolecta los desagües producidos en parte de los distritos de Ate, Santa Anita, El Agustino, San Luis, Surco, Chorrillos, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y La Molina (SEDAPAL, 2012).

La planta de tratamiento consta con un tipo de tratamiento de aguas servidas llamada preliminar avanzada y emisor submarino. La captación de aguas servidas se realizan mediante una cámara de reunión inicial y posteriormente mediante un canal y acueducto, que permite conducir los desagües recolectados por los colectores Surco y Circunvalación hacia la planta La Chira, la planta de tratamiento preliminar avanzado, que consta de los siguientes componentes:

- 01 Cámara de pozo de gruesos
- 06 Canales de desbaste de sólidos gruesos
- 01 Canal de desbaste de sólidos finos
- 06 Tamices finos de 6 mm de luz de paso
- 06 Canales de desarenador y desengrasador
- 06 Microtamices de 1 mm de luz de paso
- 01 Arqueta de desviación de caudal
- 01 Arqueta de carga del emisor
- 01 Arqueta de bombeo de vaciado

Las concentraciones de elementos del efluente tratado vertido a través del emisor submarino de la PTAR La Chira no deberán superar los siguientes valores declarados por el administrado, de acuerdo al tipo de tratamiento preliminar avanzado: $\text{DBO}_5 \leq 500 \text{ mg/l}$, $\text{DQO} \leq 1\,000 \text{ mg/l}$, $\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} \leq 10^8 \text{ NMP/100 ml}$ y $\text{Coliformes Totales} \leq 10^8 \text{ NMP/100 ml}$ según la Resolución Directoral N° 002-2013-ANA-DGCRH (ANA, 2013a).

En la Figura 23, se muestra gráficamente los procesos que deben seguir las aguas servidas para ser tratadas y así enviarlo por el emisor submarino al mar.

Figura 23. Esquema de la PTAR La Chira.

Fuente: El Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL, 2012).

2.2 Método

2.2.1 Nivel de Investigación

A través de diversos estudios, se observa que existe una vasta información con respecto a estudios de emisores submarinos en América del Norte, Asia y sobre todo en Europa. Por ejemplo, en España se han realizado investigaciones específicas a cerca de plantas de tratamiento de agua y emisores submarinos, entre otros elementos que influyen en estas estructuras sanitarias.

Sin embargo, en el Perú no existe mucha investigación con respecto a emisores submarinos por el motivo de que esta infraestructura recién está ingresando al país latinoamericano. Por esta razón, este proyecto de tesis tiene como objetivo relacionar e incrementar información, a través de diversos componentes como las propiedades físicas del agua tratada, pruebas en los procesos de tratamiento de aguas residuales y cálculos de datos obtenidos en el expediente técnico.

Por ello, el estudio se realizará a nivel exploratorio, debido a que los emisores no cuentan con estudios extensos de análisis a nivel hidráulico en Lima. Además, porque los resultados que se obtendrán con los ensayos a realizar brindarán un resultado aproximado tanto en pérdidas de carga, eficiencias, velocidades, entre otros.

2.2.2 Diseño de Investigación

El problema de este estudio se centra en saber en qué manera la capacidad hidráulica de la PTAR La Chira afecta el funcionamiento del emisor submarino correspondiente. Para un mejor entendimiento de la manera en la que se va a abordar este problema, se procederá a describir la estrategia que se va a emplear en esta investigación. Principalmente, se va a evaluar los estudios hidráulicos del emisor submarino de la PTAR La Chira, una vez identificado el área de estudio se pasará a obtener los datos necesarios para poder realizar los cálculos adecuados.

En la Figura 24 se muestra una vista del área de estudio de la PTAR La Chira con sus diferentes etapas que tiene para poder tratar el agua residual que llega de los alcantarillados de Lima y Callao.

Figura 24. Visualización del área de estudio PTAR La Chira.
Fuente: Google Imágenes.

Para esta investigación se visitará la PTAR previa autorización de la empresa estatal peruana SEDAPAL, ya que es ella que gestiona todas las actividades que se generan en las plantas, sin olvidar que esta última empresa mencionada debe informar a las empresas encargadas de las operaciones y mantenimiento de todas las visitas autorizadas.

Posteriormente se realizarán la recolección de datos mediante el análisis de los procesos por los cuales pasa el agua para ser tratada, de manera que se obtenga el caudal de ingreso a la planta, tiempo de tratamiento por proceso, velocidad, caudal de salida de agua tratada hacia el emisor, entre otros. Ello con el fin de obtener las pérdidas singulares y lineales, tipo de partículas en agua, etc.

El flujograma termina en la obtención de la capacidad hidráulica de la PTAR La Chira. Además, realizando un análisis ambiental marítimo de la zona de difusión de las aguas residuales y un análisis socio económico del área de influencia de cada PTAR. Dentro de ello, se va a realizar los cálculos del emisor submarino, obteniendo así la pérdida lineal y singular, también realizando un balance de masas para equilibrar las cantidades de aguas residuales dentro de cada planta. Además, de hallar la eficiencia teórica y real para verificar si el emisor y la planta se desarrollan de la manera esperada. Sin olvidar, realizar un análisis a la calidad del agua para verificar que se encuentra entre los límites permisibles para que no afecte al ecosistema marino.

Para que se entienda mejor, se ha realizado un flujograma con todos los procesos que se va a ejecutar para poder realizar esta investigación, como se muestra en la Figura 25.

2.2.3 Variables de estudio y operación

Para realizar esta investigación será necesario tener claro todos los parámetros comprendidos y de mayor influencia al momento de analizar la capacidad hidráulica de los emisores submarinos, tales como son el material, longitud y diámetro de la tubería del emisor, diámetro, material y coeficiente de contracción de las válvulas presentes en el tramo difusor, caudales captados por la PTAR para ingresar al emisor y de salida por los difusores. También, el paro súbito en los procesos de tratamiento de aguas residuales y en el emisor, profundidad del emisor y de descarga del efluente, velocidad de flujo dentro del emisor y la pendiente del terreno terrestre y acuático. Después de la obtención de las diferentes variables, éstas serán ingresadas en el software Visual Plumes para realizar la modelación de la pluma generada en el mar, debido a la emisión del efluente. Además, se realizará la verificación y comparación de la capacidad hidráulica las PTAR en estudio de acuerdo con los resultados obtenidos. Luego de ello, se modificarán las dimensiones de las algunas variables como el diámetro del tubo elevador y de las boquillas y el coeficiente de contracción de las válvulas, tomando en cuenta la mayor presencia de caudal emitido con la menor pérdida de carga. En la Tabla 10, se muestra las variables involucradas, tanto dependientes e independiente como: gasto máximo y mínimo de descarga, longitud de emisor y tramo difusor y dependientes como: velocidad de flujo de ingreso y pendiente del emisor y diámetros de válvula y tubo elevador de efluente planteados en este estudio, así como sus respectivos indicadores, unidades de medida e instrumentos de investigación.

Figura 25. Flujograma de investigación.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10.
Variables involucradas.

VARIABLE		PARÁMETRO	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
INDEPENDIENTE	Gasto máximo de descarga	$Q_{\text{máx}}$	Parámetro de análisis	m^3/s	Sensor electromagnético de flujo
	Gasto mínimo de descarga	$Q_{\text{mín}}$	Parámetro de análisis	m^3/s	Sensor electromagnético de flujo
	0.0 (Paro súbito)	Q	Parámetro de análisis	m^3/s	-
	Profundidad en la descarga	Y	Parámetro de análisis	m	Batimetría
	Longitud de la tubería principal	L_E	Parámetro de análisis	m	Especificación técnica
	Longitud entre el eje de emisor y la zona de protección	L_Z	Parámetro de análisis	m	Especificación técnica
	Diámetro interno (con el que se calcula el área interna AE)	D_E	Parámetro de análisis	m	Especificación técnica
	Pendiente del terreno	S_C	Parámetro de análisis	mm/mm	Batimetría
	Pendiente del fondo marino	S_O	Parámetro de análisis	mm/mm	Batimetría
DEPENDIENTE	Velocidad dentro de la tubería principal	V_E	Parámetro de análisis	m/s^2	Sensor electromagnético de flujo

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El cuadro presenta las variables independientes como el caudal, presión, peso específico y cota piezométrica, los cuales serán medidos en la planta correspondiente. Asimismo, se muestra la velocidad como variable dependiente, pues se necesita conocer el caudal para poder calcularla.

2.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para obtener información fidedigna, se procedió a utilizar las técnicas de recolección de datos que se procedió a presentar a continuación:

a) Técnica: Entrevista

Para la obtención de data sobre el incremento de población anual tomada en el diseño de la PTAR y su respectivo emisor se entrevistó a cada persona encargada de las concesionarias, las cuales tienen a su cargo la verificación del correcto funcionamiento. Para ello, se explicó la necesidad de obtención de información, ya que sin ésta no se podrá cumplir con los objetivos específicos de esta investigación que es la evaluación de la capacidad hidráulica del emisor submarino de la PTAR La Chira. El instrumento usado: Block de notas.

b) Técnica: análisis de registro de data

Una vez obtenido el registro de data de crecimiento poblacional de los distritos involucrados y el volumen de agua residual de diseño de la planta de tratamiento se analizarán los datos en gabinete para realizar una tabla de información con los datos obtenidos. Ello, con el fin de obtener los valores de caudal máximo, medio y mínimo, presión, densidades y tiempo. El instrumento usado: Informe de registro de data otorgado por las concesionarias y expediente técnico.

2.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

La técnica de procesamiento que se utilizó en esta investigación es de registro de data, la cual fue brindada por Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) quienes supervisan directa e indirectamente la PTAR La Chira. El objetivo de este registro es obtener la población estimada de diseño de la planta de tratamiento y, por ende, el volumen de agua residual que tratan y tratarán la planta durante los años de vida útil de funcionamiento para su próximo vertimiento en el mar por los emisores submarinos. Por esta razón, se realiza una comparación entre la población estimada de diseño y la población estimada que se calculó con los datos encontrados en el INEI y con ello, comprobar si el tiempo de capacidad operativa que ha brindado el expediente técnico de cada planta se cumple de manera efectiva. Por otro lado, para el análisis de datos se usó el software Excel y se determinó el crecimiento

poblacional mediante dos métodos, los cuales son: aritmético, geométrico. Ello, con el fin de corroborar el crecimiento poblacional con menor error y compararlo con la data brindada.

También, con la configuración actual de la tubería se procederá a realizar un modelo de dispersión para identificar el área de contaminación que va a tener el efluente al ser vertido al océano. Esto nos conlleva a que la concentración del efluente en el campo cercano y lejano cumpla con la normativa de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental, respectivamente. En base a ello, se realiza una propuesta que consiste en que el grado de contaminación que tiene el flujo expulsado por el emisor satisfaga con la normativa en una menor área de cuerpo de agua.

3 RESULTADOS

3.1 Análisis de crecimiento poblacional de Lima Metropolitana

3.1.1 Población de diseño

La planta de tratamiento La Chira quien tiene como usuarios a los habitantes de 18 distritos tuvo como empresa encargada de los cálculos de diseño de crecimiento poblacional a las empresas Acciona Agua S.A. y Graña y Montero S.A. Estos valores fueron calculados y proyectados desde el año 2008 hasta el año 2033. Además, ambas concesionarias realizaron los cálculos mediante tres métodos de cálculo de crecimiento poblacional, los cuales son el método lineal, geométrico y exponencial. En la Figura 26, se muestra gráficamente todos los distritos beneficiados por la PTAR La Chira y en la Tabla 11, se representa la población de diseño por los diferentes métodos de crecimiento de la planta.

Figura 26. Distritos beneficiados por la PTAR La Chira.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.

Población de diseño por los métodos de crecimiento poblacional en la PTAR La Chira

Métodos de cálculo	Año		Caudal (L/día)
	2008	2032	2032
Método de crecimiento aritmético	2,559,876	3,512,939	1,239,311
Método de crecimiento geométrico	2,559,876	3,667,630	1,293,883

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Crecimiento poblacional calculado a base de datos del INEI

En esta sección se recaudó datos de la población del departamento de Lima de acuerdo con el INEI y se procedió con la separación adecuada de los datos recabados, pues dentro de ellos se encontró información respecto a todos los distritos de la capital del Perú y para el estudio solo se necesitan valores de los distritos involucrados en el estudio. Por ello, con los datos conseguidos se ejecutó la evaluación de estos mediante la aplicación de una línea de tendencia de todos los datos desde el año 2001 hasta el año 2017. En las Tabla 12 se muestra las cantidades de personas que habitan los distritos de influencia y en la siguiente Tabla se muestra la población proyecta al año 2032. Además, en las Tabla 13, se presenta la población del año 2000 al 2017 del área de influencia de la planta y la población proyectada al año 2033, sin olvidar que en la Figura 27 se muestra la ecuación de grado 2 adecuada a los datos de población obtenida del INEI para la PTAR La Chira.

Tabla 12.

Datos recaudados de población para la PTAR La Chira 2000 – 2017.

2000	2001	2002	2003	2004	2005
2,273,606	2,313,158	2,351,909	2,389,745	2,426,579	2,462,292
2006	2007	2008	2009	2010	2011
2,496,231	2,528,415	2,559,876	2,591,652	2,624,780	2,659,412
2012	2013	2014	2015	2016	2017
2,694,817	2,730,701	2,766,769	2,802,737	2,895,771	2,941,847

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Ecuación de tendencia para una regresión polinomial de grado 2 para la PTAR La Chira.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.

Población proyectada con datos obtenidos del INEI hasta el año 2032.

2000	2001	2002	2003	2004	2005
2,273,606	2,313,158	2,351,909	2,389,745	2,426,579	2,462,292
2006	2007	2008	2009	2010	2011
2,496,231	2,528,415	2,559,876	2,591,652	2,624,780	2,659,412
2012	2013	2014	2015	2016	2017
2,694,817	2,730,701	2,766,769	2,802,737	2,895,771	2,941,847
2018	2019	2020	2021	2022	2023
2,959,971	3,005,233	3,051,346	3,098,310	3,146,125	3,146,125
2024	2025	2026	2027	2028	2029
3,244,311	3,294,680	3,345,901	3,397,974	3,450,897	3,504,672
2030	2031	2032	-	-	-
3,559,299	3,614,776	3,671,105	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Según los análisis de crecimiento poblacional realizados anteriormente, se observa que, con los métodos de crecimiento geométrico, se obtienen valores bastantes conservadores, dado que se asume un crecimiento rápido en los próximos años. Sin embargo, el método aritmético brinda una mejor aproximación, debido a que se considera un crecimiento lineal con tendencia a la estabilización de la tasa de crecimiento.

Por otro lado, se obtuvieron los gastos diarios de agua residual evacuados por cada habitante hasta el año 2016 según la OEFA. Por ello, en base a esos datos se realizó la proyección de evacuación de aguas negras con las cifras del INEI y se consiguieron los resultados que se muestra en la Tabla 14. Además, se generó una ecuación de segundo grado para poder proyectarlo al año 2032 para poder conocer cuánto es la generación de aguas residuales de cada persona por día, la cual se presentó en la Figura 28. Sin olvidar que en la Tabla 15 se presenta los datos proyectados.

Una vez obtenidos la población y la generación de aguas residuales proyectadas se pasa a operar estos datos para poder hallar un caudal diario para la planta. En la Tabla 16 se muestra el caudal proyectado al año 2032 de la PTAR La Chira.

Tabla 14.

Cantidad de agua residual producida hasta el año 2016.

Año	Caudal tratado	Generación de caudal en Lima Metropolitana	Porcentaje de caudal tratado
	m ³ /día	m ³ /día	m ³ /día
2010	237,946	1,147,175	20.74%
2011	242,753	1,175,633	20.65%
2012	254,966	1,198,908	21.27%
2013	858,730	1,675,569	51.25%
2014	1,121,213	1,563,615	71.71%
2015	1,188,864	1,545,063	76.95%
2016	1,690,675	1,866,056	90.60%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Cantidad de agua residual generada por cada habitante mediante la distribución polinomial de segundo grado.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.

Gasto de agua residual diario evacuado por habitante proyectado al año 2032.

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
140	141	141	194	179	174	207
2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
210	221	230	240	250	259	269
2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
278	287	296	304	313	321	329
2031	2032	-	-	-	-	-
337	345	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Caudal proyectado generado por día en la zona de influencia de la PTAR La Chira al año 2032.

Métodos de cálculo	Año		Caudal (L/día)
	2017	2032	2032
Método de crecimiento polinómico	2,941,847	3,671,105	1,295,109

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Verificación hidráulica de emisor submarino

3.2.1 Pérdida de carga total

3.2.1.1 Pérdida de carga lineal y singular en el emisor submarino

Se realiza la verificación de las condiciones hidráulicas de operación del emisor actual, para diversos caudales y velocidades de conducción.

- PTAR La Chira

En esta PTAR el material del emisor responsable de emitir el efluente es de es polietileno de alta densidad. Éste tiene una longitud de 3000 m + 500 m de difusores (Ver Anexo 2). Se tiene distintos procesos en el tratamiento de agua residual tipo preliminar avanzado, dentro de los cuales se presentan los diferentes niveles de agua en cada proceso dentro de la planta y el emisor (Ver Anexo 5).

Caudal máximo 11.30 m³/s

No. De tuberías 1 ud

Caudal por tuberías 11.30 m³/s

DATOS

Diámetro nominal DN	2400	mm
PRFV	SN2500	
Espesor	0	mm
Longitud L	3000	m
Diámetro interno ø	2.4	m
Rugosidad absoluta	0.1	mm
Viscosidad cinemática	0.00000101	m ² /s
Densidad del agua del mar	1026	kg/m ³

Densidad del efluente	1000	kg/m ³
Gasto Q	11.300	m ³ /s
Área A	4.524	m ² /s
Velocidad V	2.498	m/s
Reynolds Re	5935481.38	

Para obtener el coeficiente de fricción se utiliza la fórmula de Darcy-Weisbach presenta en la ecuación 10. Se necesitan los datos de rugosidad absoluta, diámetro y el número de Reynolds que se puede hallar con la ecuación 13.

$$Re = \frac{2.4 * 2.498}{1.01 * 10^{-6}}$$

$$Re = 5935481.38$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{0.1}{3.71} + \frac{2.51}{5935481.38 * \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0108$$

La pérdida de carga lineal se halla con la fórmula 10, presentada en el capítulo 2:

$$h_f = 0.0108 * \left(\frac{3000}{2.4} * \frac{2.498^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$h_f = 4.286 \text{ m}$$

Para la pérdida de carga singular se tiene que aplicar la fórmula 17. Por ende, se necesita saber cuáles son los accesorios para el emisor, para este caso solo existe una entrada y un codo de 45°, ya que la batimetría en la zona de chorrillos no es muy accidentada, por el cual tiene pendientes suaves alrededor de 1-4%.

$$h_{L1} = 0.5 * \frac{4.487^2}{2 * 9.81} = 0.159 \text{ m}$$

$$h_{L2} = 0.2 * \frac{4.487^2}{2 * 9.81} = 0.064 \text{ m}$$

$$h_L = h_{L1} + h_{L2} = 0.223 \text{ m}$$

Para calcular la pérdida total del tramo del emisor submarino se debe de sumar la perdidas lineales y perdidos singulares.

$$h_t = h_f + h_L = 4.509 \text{ m}$$

3.2.1.2 Pérdida de carga de vertedero

La pérdida de carga por vertedero se genera por la cámara de carga, se utiliza la fórmula 21 para poder calcularlo.

La cámara de carga tiene las dimensiones 7.40 m x 4.00 m.

$$11.3 = (2/3) * (2 * 9.81)^{0.5} * 0.65 * 4.00 * h^{3/2}$$

$$h = 1.294 \text{ m}$$

3.2.1.3 Pérdida de carga por diferencia de densidad

La pérdida de carga por densidad o también llamada resistencia del agua salada se presenta cuando el efluente, en este caso el agua residual fluye hacia el medio receptor el mar, donde la densidad es mayor. Para ello, primero se desarrolló un análisis de los niveles de marea, los cuales se pueden observar en la Tabla 17, con el propósito de uniformizar los parámetros no armónicos de la misma en Lima mostrados en la Tabla 18. Lo anterior, de acuerdo con los datos de marea tomados desde el año 2014 al 2019 difundidos por la Dirección de Hidrografía y Navegación. Por último, en la Tabla 19 se encuentra el resumen de los resultados obtenidos de los pasos anteriormente mencionados.

Tabla 17.

Tabla de mareas del mes de marzo 2019 - Lima.

Fecha	Día	MAREAS DE LIMA			
		1 ^{er} MAREA	2 ^{do} MAREA	3 ^{er} MAREA	4 ^{to} MAREA
1	V	0.7 m	0.3 m	1.0 m	0.5 m
2	S	0.7 m	0.3 m	1.0 m	0.4 m
3	D	0.7 m	0.3 m	1.0 m	0.4 m
4	L	0.7 m	0.3 m	1.0 m	
5	M	0.4 m	0.8 m	0.3 m	1.0 m
6	M	0.4 m	0.8 m	0.3 m	1.0 m
7	J	0.4 m	0.8 m	0.3 m	1.0 m
8	V	0.4 m	0.8 m	0.3 m	1.0 m
9	S	0.4 m	0.8 m	0.4 m	0.9 m
10	D	0.4 m	0.8 m	0.4 m	0.9 m
11	L	0.4 m	0.8 m	0.5 m	0.8 m
12	M	0.4 m	0.8 m	0.5 m	0.8 m
13	M	0.4 m	0.8 m	0.6 m	0.7 m
14	J	0.4 m	0.9 m	0.6 m	0.7 m
15	V	0.4 m	0.9 m	0.6 m	
16	S	0.7 m	0.3 m	1.0 m	0.5 m
17	D	0.7 m	0.3 m	1.0 m	0.4 m
18	L	0.8 m	0.2 m	1.0 m	0.3 m
19	M	0.8 m	0.2 m	1.1 m	0.3 m
20	M	0.9 m	0.2 m	1.1 m	
21	J	0.2 m	1.0 m	0.2 m	1.0 m
22	V	0.2 m	1.0 m	0.2 m	1.0 m
23	S	0.2 m	1.0 m	0.3 m	1.0 m
24	D	0.2 m	1.0 m	0.4 m	0.9 m
25	L	0.3 m	1.0 m	0.4 m	
26	M	0.3 m	0.9 m	0.5 m	0.8 m
27	M	0.4 m	0.9 m	0.5 m	0.7 m
28	J	0.4 m	0.9 m	0.5 m	0.6 m
29	V	0.6 m	0.4 m	0.9 m	0.5 m
30	S	0.6 m	0.4 m	1.0 m	0.4 m
31	D	0.7 m	0.4 m	1.0 m	0.4 m

Fuente: Dirección de Hidrografía y Navegación.

Tabla 18.

Resumen de datos de niveles de marea desde el año 2014-2019.

Mes	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Pleamar Máx	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Prom Pleamar Máx	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.96
Prom Pleamares	0.90	0.88	0.89	0.89	0.89	0.87
Prom Bajamares	0.30	0.30	0.31	0.31	0.33	0.33
Prom Bajamares Mín	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.21
Bajamar Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bajamar Máx	0.60	0.60	0.77	1.00	1.10	0.60
Promedio	0.77	0.80	0.77	0.68	0.69	0.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

Tabla resumen de mareas.

Valores No Armónicos	Altura NRS (m)
Pleamar Máx	1.10
Prom Pleamar Máx	0.98
Prom Pleamares	0.90
Prom Bajamares	0.31
Prom Bajamares Mín	0.17
Bajamar Mín	0.00
Bajamar Máx	0.77
Promedio	0.80

Fuente: Elaboración propia.

Para los cálculos de pérdida por densidad se utilizaron los siguientes datos:

Diferencia (agua de mar - agua residual) = 0.026. Ton/m³

A continuación, en la Tabla 20 se presenta los valores obtenidos de pérdida de carga por densidad.

Tabla 20.

Pérdida de carga por diferencia de densidad PTAR La Chira.

Nivel de Marea	Prof. Descarga c/r Marea	Set-Up (m)	Profundidad Total (m)	Carga por Diferencia de Densidad (m)
Marea Media (NRS + 0.80)	60,80	0,30	61,10	1.59
Marea Máxima (NRS + 1.10 m)	61,10	0,30	61,40	1.60
Marea Mínima (NRS)	60,00	0,00	60,00	1.56

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Pérdida de carga por diferencia de marea

Para hallar esta pérdida se necesita la Tabla 19, en la cual se muestra un registro de nivel de marea desde los años 2014 – 2019. De los cuales presenta que dentro de ese periodo la pleamar máxima no sobrepasa los 1.10 m. Entonces el emisor submarino necesita esa carga extra para que pueda descargar el efluente en el océano.

3.2.1.5 Pérdida de carga en el difusor

Para el análisis de pérdidas de carga en el difusor se toma en cuenta la cantidad de boquillas por donde se expulsará las aguas residuales tratadas al mar y el diseño hidráulico que le corresponde es un problema de flujo. Los métodos y prototipos para adquirir los valores de pérdida de carga en los difusores han sido desarrollados en el informe “Diseño del Difusor del volumen 2 tomo III SEDPAL” y se han extraído los valores de tal manera que se pueda determinar las diversas alturas en la cámara de carga.

El difusor del emisor de la PTAR La Chira con coordenadas UTM 277 804 E – 8 646 911 N y termina en las coordenadas UTM 277 595,76 E – 8 646 457,54 N, consta de 500 m de longitud, compuesto de 22 tubos elevadores separados 22 m cada uno. Entonces, cuenta con un total de 24 difusores del tipo “pico de pato” y se encuentran

perpendiculares al emisor submarino.

En las Tablas 21 y 22 se detallan las medidas de sección transversal del emisor submarino y de los difusores de la PTAR La Chira.

Tabla 21.

Medidas de la sección transversal de la tubería del emisor submarino de la PTAR La Chira.

i)	Diámetro externo	2628.44 mm
ii)	Espesor	114.20 mm
iii)	Peso promedio	820.30 Kg/m
iv)	Diámetro interno	2400.00 mm

Fuente: Elaboración propia con datos recabados de las concesionarias.

Tabla 22.

Medidas de la sección transversal de la tubería para el difusor de la PTAR La Chira.

i)	Diámetro externo	547.80 mm
ii)	Espesor	23.90 mm
iii)	Peso promedio	36.13 Kg/m
iv)	Diámetro interno	500.00 mm
v)	Cruceta	55.00 mm

Fuente: Elaboración propia con datos recabados de las concesionarias.

En la tabla 23 se presenta las pérdidas de carga del tramo difusor, en la tabla 24 se observa la pérdida de carga del tubo elevador. Además, en la tabla 25 se muestra la pérdida de carga de las boquillas de cada tubo elevador. Sin olvidar que la tabla 26 presenta la pérdida de salida del efluente al océano.

Tabla 23.

Perdida de carga en el tramo difusor de la PTAR La Chira (Estado Actual).

DIFUSOR			Tramo difusor								
Raiser N°	Qemisor	Qraiser	Φ	Qa / Q	V	Re	ftab	fcal	L	Kc	Δh
1	11.300	0.617	2.4	0.0546	2.498	5935481.4	0.00	0.0108	20	0	0.029
2	10.683	0.599	2.4	0.0561	2.361	5611233.8	0.00	0.0108	20	0.1	0.083
3	10.084	0.582	2.4	0.0577	2.229	5296703.6	0.00	0.0108	20	0.1	0.131
4	9.502	0.566	2.4	0.0596	2.100	4991103.0	0.00	0.0109	20	0.1	0.174
5	8.936	0.552	2.4	0.0618	1.975	4693696.4	0.00	0.0109	20	0.1	0.212
6	8.384	0.539	2.4	0.0643	1.853	4403748.6	0.00	0.0110	20	0.1	0.245
7	7.845	0.528	2.4	0.0673	1.734	4120524.1	0.00	0.0110	20	0.1	0.274
8	7.317	0.518	2.4	0.0707	1.617	3843287.7	0.00	0.0110	20	0.1	0.300
9	6.799	0.509	2.4	0.0748	1.503	3571461.4	0.00	0.0111	20	0.1	0.322
10	6.291	0.501	2.4	0.0796	1.391	3304362.6	0.00	0.0112	20	0.1	0.341
11	5.790	0.494	2.4	0.0853	1.280	3041360.8	0.00	0.0112	20	0.1	0.357
12	5.296	0.488	2.4	0.0922	1.171	2781930.8	0.00	0.0113	20	0.1	0.371
13	4.808	0.483	2.4	0.1005	1.063	2525494.8	0.00	0.0114	20	0.1	0.382
14	4.325	0.468	2.4	0.1082	0.956	2271632.6	0.00	0.0115	20	0.1	0.391
15	3.857	0.453	2.4	0.1174	0.853	2025806.9	0.00	0.0116	20	0.1	0.399
16	3.404	0.438	2.4	0.1287	0.752	1787912.8	0.00	0.0117	20	0.1	0.404
17	2.966	0.423	2.4	0.1428	0.656	1557845.0	0.00	0.0119	20	0.1	0.409
18	2.542	0.409	2.4	0.1608	0.562	1335446.1	0.00	0.0121	20	0.1	0.412
19	2.134	0.394	2.4	0.1847	0.472	1120768.6	0.00	0.0123	20	0.1	0.414
20	1.740	0.379	2.4	0.2179	0.385	913812.4	0.00	0.0126	20	0.1	0.416
21	1.361	0.364	2.4	0.2675	0.301	714682.7	0.00	0.0130	20	0.1	0.417
22	0.997	0.349	2.4	0.3497	0.220	523484.5	0.00	0.0136	20	0.1	0.417
23	0.648	0.332	2.4	0.5123	0.143	340427.9	0.00	0.0146	20	0.1	0.417
24	0.316	0.316	2.4	0.9997	0.070	166040.3	0.00	0.0165	20	0.1	0.418
	0										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24.

Perdida de carga en el tubo elevador de la PTAR La Chira (Estado Actual).

DIFUSOR			Tubo elevador							
Raiser Nº	Qemisor	Qraiser	Φ	V	Re	f	f	L	Ka	8 h
1	11.300	0.617	0.5	3.144	1556388.3	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.403
2	10.683	0.599	0.5	3.050	1509744.8	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.379
3	10.084	0.582	0.5	2.963	1466883.3	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.358
4	9.502	0.566	0.5	2.884	1427551.6	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.339
5	8.936	0.552	0.5	2.811	1391749.6	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.322
6	8.384	0.539	0.5	2.746	1359477.4	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.307
7	7.845	0.528	0.5	2.688	1330734.9	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.295
8	7.317	0.518	0.5	2.636	1304765.9	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.283
9	6.799	0.509	0.5	2.590	1282074.5	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.273
10	6.291	0.501	0.5	2.550	1262408.6	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.265
11	5.790	0.494	0.5	2.515	1245264.0	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.258
12	5.296	0.488	0.5	2.486	1230892.8	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.252
13	4.808	0.483	0.5	2.461	1218538.6	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.247
14	4.325	0.468	0.5	2.384	1179963.2	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.232
15	3.857	0.453	0.5	2.307	1141892.1	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.217
16	3.404	0.438	0.5	2.231	1104325.2	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.203
17	2.966	0.423	0.5	2.231	1104325.2	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.203
18	2.542	0.409	0.5	2.156	1067514.7	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.190
19	2.134	0.394	0.5	2.082	1030452.1	0.00	0.0147	0.5	0.8	0.177
20	1.740	0.379	0.5	2.007	993389.5	0.00	0.0147	0.5	0.8	0.164
21	1.361	0.364	0.5	1.931	955822.6	0.00	0.0147	0.5	0.8	0.152
22	0.997	0.349	0.5	1.854	917751.5	0.00	0.0148	0.5	0.8	0.140
23	0.648	0.332	0.5	1.775	878671.9	0.00	0.0148	0.5	0.8	0.128
24	0.316	0.316	0.5	1.691	837060.5	0.00	0.0148	0.5	0.8	0.117
	0									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.

Perdida de carga en boquillas de la PTAR La Chira (Estado Actual).

DIFUSOR			Boquillas					
Raiser N°	Qemisor	Qraiser	Φ	N°	Q	Area _{efect}	V	8 h
1	11.300	0.617	0.5	1	0.6173	0.1963	3.144	1.31
2	10.683	0.599	0.5	1	0.5988	0.1963	3.050	1.23
3	10.084	0.582	0.5	1	0.5818	0.1963	2.963	1.16
4	9.502	0.566	0.5	1	0.5662	0.1963	2.884	1.10
5	8.936	0.552	0.5	1	0.5520	0.1963	2.811	1.05
6	8.384	0.539	0.5	1	0.5392	0.1963	2.746	1.00
7	7.845	0.528	0.5	1	0.5278	0.1963	2.688	0.96
8	7.317	0.518	0.5	1	0.5175	0.1963	2.636	0.92
9	6.799	0.509	0.5	1	0.5085	0.1963	2.590	0.89
10	6.291	0.501	0.5	1	0.5007	0.1963	2.550	0.86
11	5.790	0.494	0.5	1	0.4939	0.1963	2.515	0.84
12	5.296	0.488	0.5	1	0.4882	0.1963	2.486	0.82
13	4.808	0.483	0.5	1	0.4833	0.1963	2.461	0.80
14	4.325	0.468	0.5	1	0.4680	0.1963	2.384	0.75
15	3.857	0.453	0.5	1	0.4529	0.1963	2.307	0.71
16	3.404	0.438	0.5	1	0.4380	0.1963	2.231	0.66
17	2.966	0.423	0.5	1	0.4234	0.1963	2.156	0.62
18	2.542	0.409	0.5	1	0.4087	0.1963	2.082	0.57
19	2.134	0.394	0.5	1	0.3940	0.1963	2.007	0.53
20	1.740	0.379	0.5	1	0.3791	0.1963	1.931	0.49
21	1.361	0.364	0.5	1	0.3640	0.1963	1.854	0.46
22	0.997	0.349	0.5	1	0.3485	0.1963	1.775	0.42
23	0.648	0.332	0.5	1	0.3320	0.1963	1.691	0.38
24	0.316	0.316	0.5	1	0.3160	0.1963	1.609	0.34
	0							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26.

Perdida de carga en la salida del difusor de la PTAR La Chira (Estado Actual).

DIFUSOR			Salida		Salinidad		Mareas	Pérdida total
Raiser Nº	Qemisor	Qraiser	K	8 h	h	8 h	8 h	8 h total
1	11.300	0.617	1	0.504	56.5	1.469	1.10	10.617
2	10.683	0.599	1	0.474	56.5	1.469	1.10	10.541
3	10.084	0.582	1	0.448	56.5	1.469	1.10	10.472
4	9.502	0.566	1	0.424	56.5	1.469	1.10	10.411
5	8.936	0.552	1	0.403	56.5	1.469	1.10	10.356
6	8.384	0.539	1	0.384	56.5	1.469	1.10	10.308
7	7.845	0.528	1	0.368	56.5	1.469	1.10	10.267
8	7.317	0.518	1	0.354	56.5	1.469	1.10	10.230
9	6.799	0.509	1	0.342	56.5	1.469	1.10	10.198
10	6.291	0.501	1	0.331	56.5	1.469	1.10	10.172
11	5.790	0.494	1	0.322	56.5	1.469	1.10	10.148
12	5.296	0.488	1	0.315	56.5	1.469	1.10	10.129
13	4.808	0.483	1	0.309	56.5	1.469	1.10	10.113
14	4.325	0.468	1	0.290	57.5	1.495	1.10	10.063
15	3.857	0.453	1	0.271	58.5	1.521	1.10	10.016
16	3.404	0.438	1	0.254	59.5	1.547	1.10	9.970
17	2.966	0.423	1	0.237	60.5	1.573	1.10	9.941
18	2.542	0.409	1	0.221	61.5	1.599	1.10	9.898
19	2.134	0.394	1	0.205	62.5	1.625	1.10	9.858
20	1.740	0.379	1	0.190	63.5	1.651	1.10	9.818
21	1.361	0.364	1	0.175	64.5	1.677	1.10	9.779
22	0.997	0.349	1	0.161	65.5	1.703	1.10	9.741
23	0.648	0.332	1	0.146	66.5	1.729	1.10	9.702
24	0.316	0.316	1	0.132	67.5	1.755	1.10	9.667
	0							

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Modelo de dispersión

El proceso de mezcla hidrodinámica generalmente tiene lugar en dos zonas diferentes: el campo cercano y el campo lejano. En el campo cercano ocurre la dilución inicial, donde la configuración de descarga y las características físicas del agua residual influyen en la acción de mezcla; un emisor submarino diseñado apropiadamente puede aumentar considerablemente la mezcla entre el efluente y el agua ambiente que se encuentra por encima de el mismo. A medida que la pluma turbulenta se aleja, las características del chorro pierden importancia y el tratamiento tridimensional de la dispersión de la concentración casi cambia a un tratamiento bidimensional. Cuando el chorro colapsa, se forma una pluma impulsada por

la diferencia de densidad que se extiende sobre la superficie del mar y genera un sistema estratificado. Desde aquí, esta área se conoce como la zona de campo lejano, y el grado de mezcla depende de las condiciones ambientales (Loya-Fernández et al., 2018).

Asimismo, las regulaciones legales establecen criterios limitantes para minimizar el impacto generado por la descarga. Los cálculos complejos de dilución para aguas que contienen aguas residuales se pueden simplificar haciendo una serie de aceptaciones del entorno receptor, así como el uso de modelos matemáticos respaldados por programas y módulos de paquetes informáticos que tienen en cuenta más parámetros y datos oceanográficos detallados. Posteriormente a la descarga del efluente en el mar, este disminuye prontamente en concentración, dilución inicial y dispersión, de modo que permiten diluciones y el transporte de este hacia la costa, debido a ello la estructura del flujo y la distancia a la costa en el entorno receptor deben ser adecuadas (İnan & Yilmaz, 2018).

Además, la función más importante que se espera de un sistema de descarga marina es reducir las concentraciones de la sustancia suministrada al medio ambiente por debajo de los valores límites máximos permisibles por la dilución, según el uso previsto de la sección costera (İnan & Yilmaz, 2018).

Muchos modelos han sido desarrollados para estimar la dilución. Algunos de estos pueden predecir la primera dilución para entornos donde no se observa la estratificación uniforme. Además, está disponible softwares informáticos extremadamente complejo para el diseño de descargas marinas, para realizar este estudio se examina con el Visual Plumes. Igualmente puede realizar el modelado y análisis de zonas de dilución y mezcla (Baum & Gibbes, 2020). El modelo que utiliza es del tipo lagrangiano que contiene la hipótesis del proyecto de la región de deriva. Además, asume que la nube de dispersión es estable (Inan, 2019). Las estimaciones del programa incluyen dilución, elevación, diámetro y otras variables de la pluma. Asimismo, examina las características de dilución y la geometría de la zona de mezcla primaria; diseño, estimación y análisis de la línea de descarga de aguas residuales vertidas al medio receptor. Hay tres grupos de entrada diferentes para ingresar los datos requeridos utilizando el Visual Plumes: datos de medios ambientales, estructura de descarga y características de salida (Baum & Gibbes, 2020).

Sin olvidar, los complementos de la nube dinámica se ignoran. En la distribución de campo cercano, no se examina un límite local en la región cercana a la salida de flujo, se acepta un cuerpo de agua sin fin (Baum & Gibbes, 2020).

También el software funciona con enfoques de chorro integral, escala de longitud y difusión pasiva. Cuenta con tres modelos de chorro integral (UM, UDKHG, PDS) y uno a escala de longitud (RSB). Estos patrones se utilizan en distribuciones estables de campo cercano sin extensiones dinámicas. La estabilidad del flujo no se puede determinar. Las condiciones de flujo y las corrientes de densidad inestables y aditivas no se examinan en Visual Plumes no tiene un procedimiento de reporte. El modelo utiliza un enfoque de chorro integral similares: en la región de campo cercano, en un entorno estable, en ausencia de adiciones dinámicas, donde la mezcla de corrientes de densidad no es importante en la región de mezcla legal, da resultados similares. Además, para descargas en aguas profundas, porque en este caso la distribución de campo cercano tiene prioridad y no hay extensiones de base dinámica (Baum & Gibbes, 2020).

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) que se presenta en la Tabla 1 y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que se presenta en la Tabla 2, son necesarios para la verificación de todos los parámetros que se encuentran dentro de la Ley de Vertimiento de Aguas Residuales creado en el Decreto Ley N° 25965.

Los elementos estructurales del emisor submarino de la PTAR La Chira se presentan en las siguientes figuras. En la Figura 29 se muestra la configuración actual del tramo difusor del emisor submarino, cuando la profundidad es mayor, la densidad varía según la profundidad (Inan & Cebe, 2019), lo que provoca una nube de flotación positiva en el fondo marino. Además, la Figura 30 se muestra el detalle del difusor isométrico del emisor submarino de la planta, las cuales fueron recaudadas del EIA detallado del proyecto o también llamado Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisor Submarino – PTAR La Chira” presentado por la Concesionaria La Chira S.A. al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) a través de la Autoridad Nacional de Agua (ANA).

Figura 29. Configuración actual del tramo difusor del emisor submarino de la PTAR La Chira.
Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisor Submarino La Chira.

En la Tabla 27 se muestra características actuales del emisor submarino para descargar de aguas residuales en la PTAR La Chira mencionando el diámetro de la tubería principal, diámetro de raiser, diámetro de difusores tipo duckbill, número de boquillas, ángulo vertical y ángulo horizontal que tienen los raiser con la tubería, profundidad de descarga, salinidad del efluente, densidad del efluente, temperatura del efluente, longitud de los difusores y coeficiente de contracción de difusores. En la Tabla 28 y 29 se muestran los resultados del análisis de aguas residuales extraído del EIA detallado el proyecto.

Figura 30. Detalle del difusor isométrico del emisor submarino de la PTAR La Chira.
Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisor Submarino La Chira.

Tabla 27.

Características de descargas básicas para aguas residuales con la configuración actual del emisor submarino de la PTAR La Chira.

Parámetros	Cantidad
Diámetro nominal del emisor submarino	$D_{Nes} = 2.40 \text{ m}$
Diámetro nominal de los tubos elevadores	$D_{Nr} = 0.50 \text{ m}$
Boquillas	$\#Boq. = 24$
Distancia entre boquillas	$d = 22 \text{ m}$
Angulo Vertical	$\theta = 90^\circ$
Angulo Horizontal	$\theta = 0^\circ$
Altura del difusor	$H = 3.15 \text{ m}$
Caudal máximo	$Q = 11.3 \text{ m}^3/\text{s}$
Profundidad de descarga	$Hd = 60 \text{ m}$
Velocidad de descarga	$Vd = 0.6 - 5.0 \text{ m/s}$
Salinidad del efluente	$S = 3.49 \text{ psu}$
Densidad del efluente	$\rho = 1000.1 \text{ kg/m}^3$
Temperatura del efluente	$T = 23.6 \text{ }^\circ\text{C}$
Longitud del tubo difusor	$L = 505 \text{ m}$
Coeficiente de contracción del difusor	$a_j/a_p = 0.55$

Fuente: Elaboración propia con información recaudada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira

Tabla 28.

Resultados de los análisis de aguas residuales de la PTAR La Chira.

Parámetros	Unidad	Resultados de los análisis de aguas residuales de la PTAR La Chira
Aceites y grasas	mg/L	83.9
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	2,100,000,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	356,327.6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	415,475.1
P_H	unidad	7
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	214
Temperatura	$^\circ\text{C}$	23.6

Fuente: Elaboración propia con información recaudada de los informes trimestrales de la calidad de agua.

Tabla 29.

Características del cuerpo de agua en la zona de la PTAR La Chira

Parámetros	Cantidad
Velocidad de las corrientes marinas	$V_M = 0.1 - 0.3 \text{ m/s}$
Temperatura	$T = 17 - 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Salinidad	$S = 34 - 37 \text{ psu}$
Dirección de la corriente	NNO, SSE y OSO

Fuente: Elaboración propia con información recaudada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira

3.3.1 Campo Cercano

En esta parte de la investigación se examinó el efecto de las corrientes marinas en la dilución del efluente en el campo cercano. Para evidenciar ello, en la Tabla 28 se muestra los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO y sólidos totales en suspensión. Sin embargo, en la Tabla 1 se menciona que dichos parámetros no deben superar los LMP hasta llegar a la superficie del océano. En la Tabla 30 se muestra la altura necesaria que necesita cada parámetro para cumplir los LMP en el campo cercano. En este caso los únicos que cumplen con estas condiciones son los parámetros Aceites y Grasas, y Sólidos Totales en Suspensión. Cabe resaltar que los parámetros Coliformes Termotolerantes, DBO y DQO no cumplen las concentraciones mínimas estipuladas en la norma.

En la Tabla 31 se muestra el rango de valores de velocidad que tiene el flujo en la superficie del océano en cada parámetro en los diferentes escenarios, una vez que el flujo se encuentre en la superficie del océano su gradiente de dilución va a depender únicamente de las velocidades de las corrientes marinas.

Tabla 30.

Altura necesaria para cumplir los LMP para los parámetros indicados con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO – SSE – OSO			NNO – SSE – OSO		
	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	2.67 – 3.42 m	2.61 – 3.27 m	2.41 – 2.96 m	2.67 – 3.42 m	2.61 – 3.27 m	2.41 – 2.96 m
Coliformes Termotolerantes NMP/100 mL	-	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	-	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno mg/L	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	0.43 – 0.73 m	0.43 – 0.73 m	0.43 – 0.73 m	0.43 – 0.73 m	0.43 – 0.73 m	0.43 – 0.73 m

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

Tabla 31.

Rango de valores de velocidades del flujo expulsado por el emisor submarino en la superficie del océano con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias y Condiciones extraordinarias	
	NNO - SSE - OSO	
	v = 0.1 - 0.3 m/s	
Aceites y grasas (mg/L)	0.24 – 0.32 m/s	
Coliformes Termotolerantes NMP/100 mL		
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L		
Demanda Química de Oxígeno mg/L		
Sólidos Totales en Suspensión mL/L		

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 32 se muestra el rango de valores de distancia horizontal para cada parámetro y escenario, una vez el efluente es expulsado desde la zona de los difusores hasta llegar a la superficie del océano. Cabe precisar que la distancia horizontal varía conforme cambia los valores de velocidades de las corrientes marinas.

Tabla 32.

Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO – SSE – OSO			NNO – SSE – OSO		
	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	24.7 - 79.3 m	24.6 - 82.3 m	24.9 - 82.3 m	29.3 - 86.3 m	25.0 - 80.3 m	24.0 - 79.3 m
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	24.4 - 79.6 m	24.7 - 81.6 m	24.7 - 81.6 m	24.7 - 83.6 m	24.7 - 82.6 m	24.7 - 81.6 m
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	24.7 - 81.6 m	24.7 - 81.6 m	24.7 - 82.6 m	24.6 - 80.6 m	24.7 - 80.6 m	24.7 - 82.6 m
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	24.7 - 79.6 m	24.7 - 81.6 m	24.5 - 79.6 m	24.7 - 80.6 m	24.5 - 79.6 m	24.7 - 82.6 m
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	24.6 - 79.3 m	24.6 - 80.3 m	24.6 - 80.3 m	24.6 - 79.3 m	24.6 - 80.3 m	24.6 - 80.3 m

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 33 se muestra los rangos de valores de tiempo del flujo expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano. Cabe resaltar que, si las velocidades de las corrientes marinas aumentan, el tiempo que se demora el flujo en llegar a la superficie del agua también se incrementará en condiciones ordinarias. Además, para condiciones extraordinarias tiene un incremento mínimo en el tiempo, debido a que el T90 es mayor en la condición ya mencionada que en condiciones ordinarias.

Tabla 33.

Rango de valores de tiempo en el cual el flujo tarda en llegar a la superficie del océano desde que es expulsado del emisor submarino con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO	SSE	OSO	NNO	SSE	OSO
	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	177 - 398 s	178 - 398 s	177 - 398 s	212 - 420 s	178 - 398 s	177 - 398 s
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	175 - 398 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s	175 - 338 s
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	183 - 398 s	183 - 398 s	183 - 397 s	183 - 398 s	183 - 398 s	183 - 398 s

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 34 se muestra las concentraciones de cada parámetro en la superficie del océano, estas concentraciones aumentan en condiciones extraordinarias que en condiciones ordinarias. Cabe precisar que las concentraciones en la superficie dependen directamente de la factores físicos y químicos del océano y del efluente.

Tabla 34.

Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO	SSE	OSO	NNO	SSE	OSO
	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	1.07 – 1.32 mg/L	1.07 – 1.31 mg/L	1.07 – 1.31 mg/L	1.08 – 1.27 mg/L	1.08 – 1.36 mg/L	1.08 – 1.36 mg/L
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	2,210,000 – 8,160,000 NMP/100 Ml	2,210,000 – 8,110,000 NMP/100 mL	2,210,000 – 8,160,000 NMP/100 mL	2,310,000 – 9,290,000 NMP/100 mL	2,310,000 – 9,230,000 NMP/100 mL	2,310,000 – 9,290,000 NMP/100 mL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	385 – 1395 mg/L	385 – 1386 mg/L	385 – 1395 mg/L	402 – 1587 mg/L	402 – 1576 mg/L	402 – 1587 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	467 – 1644 mg/L	468 – 1634 mg/L	467 – 1645 mg/L	487 – 1868 mg/L	487 – 1856 mg/L	487 – 1868 mg/L
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	30.18 – 30.68 mL/L	30.18 – 30.67 mL/L	30.18 – 30.68 mL/L	30.18 – 30.77 mL/L	30.18 – 30.76 mL/L	30.18 – 30.77 mL/L

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En los Anexos 6, 16 y 26 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Aceites y Grasas con configuración real. Asimismo, en los Anexos 7, 17 y 27 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Aceites y Grasas con configuración real.

En los Anexos 8, 18 y 28 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Coliformes Termotolerantes con configuración real.

Asimismo, en los Anexos 9, 19 y 29 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Coliformes Termotolerantes con configuración real.

En los Anexos 10, 20 y 30 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro DBO con configuración real. Asimismo, en los Anexos 11, 21 y 31 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro DBO con configuración real.

En los Anexos 12, 22 y 32 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro DQO con configuración real. Asimismo, en los Anexos 13, 23 y 33 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro DQO con configuración real.

En los Anexos 14, 24 y 34 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión con configuración real. Asimismo, en los Anexos 15, 25 y 35 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión con configuración real.

3.3.2 Campo Lejano

En esta parte de la investigación se examinó el efecto de las corrientes marinas en la dilución del efluente en el campo lejano. Para evidenciar ello, en la Tabla 28 se muestra los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO y sólidos totales en suspensión. Sin embargo, en la Tabla 2 se menciona que dichos parámetros no deben superar los ECA hasta llegar a la superficie del océano. En la Tabla 35 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el primer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 41 – 80% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 7 – 12%.

Tabla 35.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones ordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	NNO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	5.37	10.20	4.81	18.40	4.51	26.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	17.02	25.00	16.26	48.20	15.84	70.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	9.56	16.20	8.94	30.60	8.54	44.20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	9.71	16.40	9.01	30.80	8.69	44.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	4.39	8.60	3.93	15.40	3.70	21.80

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 36 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 42 – 79% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 6 – 13%.

Tabla 36.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones ordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	SSE					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	4.34	9.60	3.84	17.20	3.61	24.40
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	15.31	24.20	14.68	46.80	14.26	68.60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	8.16	15.40	7.65	29.20	7.36	42.40
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	8.30	15.60	7.80	29.60	7.45	42.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	3.44	8.00	3.08	14.40	2.90	20.40

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 37 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el tercer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 41 – 80% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 7 – 12%.

Tabla 37.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones ordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	OSO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	5.37	10.20	4.81	18.40	4.51	26.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	17.02	25.00	16.26	48.20	15.84	70.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	9.56	16.20	8.94	30.60	8.54	44.20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	9.71	16.40	9.01	30.80	8.69	44.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	4.39	8.60	3.93	15.40	3.70	21.80

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 38 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones extraordinarias ($T_{90} = 24$ hr) en cada parámetro. En el tercer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 41 – 80% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 7 – 12%.

Tabla 38.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones extraordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	NNO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	21.25	29.40	18.33	52.60	16.84	74.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	87.58	79.60	82.78	153.00	79.98	224.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	43.54	49.00	40.40	92.80	38.48	134.00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	44.82	50.00	41.25	94.20	39.20	136.00
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	16.65	24.60	13.98	43.00	12.83	60.40

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 39 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones extraordinarias ($T_{90} = 24$ hr) en cada parámetro. En el tercer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 40 – 79% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 9 – 16%.

Tabla 39.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones extraordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	SSE					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	17.88	27.00	15.42	48.40	14.11	68.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	15.31	24.20	14.68	46.80	14.26	68.60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	8.16	15.40	7.65	29.20	7.36	42.40
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	8.30	15.60	7.80	29.60	7.45	42.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	13.56	22.20	11.42	39.00	10.46	54.80

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 40 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones extraordinarias ($T_{90} = 24$ hr) en cada parámetro. En el tercer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 41 – 79% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 9 – 16%.

Tabla 40.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones extraordinarias con configuración real.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	OSO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	21.25	29.40	18.33	52.60	16.84	74.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	87.58	79.60	82.78	153.00	79.98	224.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	44.31	49.60	40.63	93.20	38.55	135.00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	44.82	50.00	41.25	94.20	39.20	136.00
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	16.65	24.60	13.98	43.00	12.83	60.40

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

3.4 Optimización de la capacidad hidráulica de los emisores submarinos

3.4.1 Propuesta hidráulica de emisor submarino

Las pérdidas totales actuales de ambos emisores se encuentran en el capítulo 3.2 y de acuerdo con ello se realizó diferentes iteraciones hasta encontrar la óptima produciendo una mayor cantidad de volumen emitido con una menor perdida de carga posible. Cumpliendo con la “Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua” propuesto por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2017). Para los autores Ardalan y Vadaei nos menciona que los ángulos de 30 – 45° ocasiona un mayor grado de dilución en zonas con pendientes pronunciados (Ardalan & Vafaei, 2018). Para el diseño no se cambió las dimensiones del vertedero, diámetro del emisor, densidad del efluente, caudal del emisor, velocidad de corriente, dirección de la corriente, temperatura y salinidad del cuerpo de agua. Por el contrario, se modificó el diámetro de los tubos elevadores, diámetros difusores, ángulo vertical de los tubos difusores y el coeficiente de contracción de difusor, estos cambios se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41.

Características de descargas básicas para aguas residuales con la configuración propuesta del emisor submarino de la PTAR La Chira.

Parámetros	Cantidad
Diámetro nominal del emisor submarino	$D_{Nes} = 2.40 \text{ m}$
Diámetro nominal de los tubos elevadores	$D_{Nr} = 0.70 \text{ m}$
Boquillas	$\#Boq. = 24$
Distancia entre boquillas	$d = 22 \text{ m}$
Angulo Vertical	$\theta = 45^\circ$
Angulo Horizontal	$\theta = 0^\circ$
Altura del difusor	$H = 3.15 \text{ m}$
Caudal máximo	$Q = 11.3 \text{ m}^3/\text{s}$
Profundidad de descarga	$Hd = 60 \text{ m}$
Velocidad de descarga	$Vd = 0.6 - 5.0 \text{ m/s}$
Salinidad del efluente	$S = 3.49 \text{ psu}$
Densidad del efluente	$\rho = 1000.1 \text{ kg/m}^3$
Temperatura del efluente	$T = 23.6 \text{ }^\circ\text{C}$
Longitud del tubo difusor	$L = 505 \text{ m}$
Coeficiente de contracción del difusor	$a_j/a_p = 0.40$

Fuente: Elaboración propia con información recaudada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira

En la Tabla 42 se presenta las pérdidas de carga del tramo difusor, en la Tabla 43 se observa la pérdida de carga del tubo elevador. Además, en la Tabla 44 se muestra la pérdida de carga de las boquillas de cada tubo elevador. Sin olvidar a la Tabla 45, que representa la pérdida de salida del efluente al océano. Además, en la Tabla 46 se presenta la variación de pérdida de carga total del sistema actual con el sistema optimizado.

Tabla 42.

Pérdida de carga en el tramo difusor de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).

DIFUSOR			Tramo difusor								
Raiser Nº	Qemisor	Qraiser	Φ	Q_a / Q	V	Re	f_{tab}	f_{cal}	L	Kc	Δh
1	11.300	0.617	2.4	0.0546	2.498	5935481.4	0.00	0.0108	20	0	0.029
2	10.683	0.599	2.4	0.0561	2.361	5611233.8	0.00	0.0108	20	0.1	0.083
3	10.084	0.582	2.4	0.0577	2.229	5296703.6	0.00	0.0108	20	0.1	0.131
4	9.502	0.566	2.4	0.0596	2.100	4991103.0	0.00	0.0109	20	0.1	0.174
5	8.936	0.552	2.4	0.0618	1.975	4693696.4	0.00	0.0109	20	0.1	0.212
6	8.384	0.539	2.4	0.0643	1.853	4403748.6	0.00	0.0110	20	0.1	0.245
7	7.845	0.528	2.4	0.0673	1.734	4120524.1	0.00	0.0110	20	0.1	0.274
8	7.317	0.518	2.4	0.0707	1.617	3843287.7	0.00	0.0110	20	0.1	0.300
9	6.799	0.509	2.4	0.0748	1.503	3571461.4	0.00	0.0111	20	0.1	0.322
10	6.291	0.501	2.4	0.0796	1.391	3304362.6	0.00	0.0112	20	0.1	0.341
11	5.790	0.494	2.4	0.0853	1.280	3041360.8	0.00	0.0112	20	0.1	0.357
12	5.296	0.488	2.4	0.0922	1.171	2781930.8	0.00	0.0113	20	0.1	0.371
13	4.808	0.483	2.4	0.1005	1.063	2525494.8	0.00	0.0114	20	0.1	0.382
14	4.325	0.468	2.4	0.1082	0.956	2271632.6	0.00	0.0115	20	0.1	0.391
15	3.857	0.453	2.4	0.1174	0.853	2025806.9	0.00	0.0116	20	0.1	0.399
16	3.404	0.438	2.4	0.1287	0.752	1787912.8	0.00	0.0117	20	0.1	0.404
17	2.966	0.423	2.4	0.1428	0.656	1557845.0	0.00	0.0119	20	0.1	0.409
18	2.542	0.409	2.4	0.1608	0.562	1335446.1	0.00	0.0121	20	0.1	0.412
19	2.134	0.394	2.4	0.1847	0.472	1120768.6	0.00	0.0123	20	0.1	0.414
20	1.740	0.379	2.4	0.2179	0.385	913812.4	0.00	0.0126	20	0.1	0.416
21	1.361	0.364	2.4	0.2675	0.301	714682.7	0.00	0.0130	20	0.1	0.417
22	0.997	0.349	2.4	0.3497	0.220	523484.5	0.00	0.0136	20	0.1	0.417
23	0.648	0.332	2.4	0.5123	0.143	340427.9	0.00	0.0146	20	0.1	0.417
24	0.316	0.316	2.4	0.9997	0.070	166040.3	0.00	0.0165	20	0.1	0.418
	0										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43.

Pérdida de carga en el tubo elevador de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).

DIFUSOR			Tubo elevador							
Raiser N°	Qemisor	Qraiser	Φ	V	Re	f	f	L	Ka	8 h
1	11.300	0.617	0.7	1.604	1111705.9	0.00	0.0139	0.5	0.8	0.105
2	10.683	0.599	0.7	1.556	1078389.2	0.00	0.0139	0.5	0.8	0.099
3	10.084	0.582	0.7	1.512	1047773.8	0.00	0.0140	0.5	0.8	0.093
4	9.502	0.566	0.7	1.471	1019679.7	0.00	0.0140	0.5	0.8	0.088
5	8.936	0.552	0.7	1.434	994106.8	0.00	0.0140	0.5	0.8	0.084
6	8.384	0.539	0.7	1.401	971055.3	0.00	0.0140	0.5	0.8	0.080
7	7.845	0.528	0.7	1.371	950524.9	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.077
8	7.317	0.518	0.7	1.345	931975.6	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.074
9	6.799	0.509	0.7	1.321	915767.5	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.071
10	6.291	0.501	0.7	1.301	901720.4	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.069
11	5.790	0.494	0.7	1.283	889474.3	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.067
12	5.296	0.488	0.7	1.269	879209.1	0.00	0.0141	0.5	0.8	0.066
13	4.808	0.483	0.7	1.256	870384.7	0.00	0.0142	0.5	0.8	0.064
14	4.325	0.468	0.7	1.216	842830.9	0.00	0.0142	0.5	0.8	0.060
15	3.857	0.453	0.7	1.177	815637.2	0.00	0.0142	0.5	0.8	0.056
16	3.404	0.438	0.7	1.138	788803.7	0.00	0.0143	0.5	0.8	0.053
17	2.966	0.423	0.7	1.138	788803.7	0.00	0.0143	0.5	0.8	0.053
18	2.542	0.409	0.7	1.100	762510.5	0.00	0.0143	0.5	0.8	0.049
19	2.134	0.394	0.7	1.062	736037.2	0.00	0.0143	0.5	0.8	0.046
20	1.740	0.379	0.7	1.024	709563.9	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.043
21	1.361	0.364	0.7	0.985	682730.4	0.00	0.0144	0.5	0.8	0.040
22	0.997	0.349	0.7	0.946	655536.8	0.00	0.0145	0.5	0.8	0.036
23	0.648	0.332	0.7	0.906	627622.8	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.033
24	0.316	0.316	0.7	0.863	597900.3	0.00	0.0146	0.5	0.8	0.030
	0									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44.

Pérdida de carga en boquillas de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).

DIFUSOR			Boquillas					
Raiser Nº	Qemisor	Qraiser	Φ	Nº	Q	Area _{efect}	V	8 h
1	11.300	0.617	0.7	1	0.6173	0.3848	1.604	0.34
2	10.683	0.599	0.7	1	0.5988	0.3848	1.556	0.32
3	10.084	0.582	0.7	1	0.5818	0.3848	1.512	0.30
4	9.502	0.566	0.7	1	0.5662	0.3848	1.471	0.29
5	8.936	0.552	0.7	1	0.5520	0.3848	1.434	0.27
6	8.384	0.539	0.7	1	0.5392	0.3848	1.401	0.26
7	7.845	0.528	0.7	1	0.5278	0.3848	1.371	0.25
8	7.317	0.518	0.7	1	0.5175	0.3848	1.345	0.24
9	6.799	0.509	0.7	1	0.5085	0.3848	1.321	0.23
10	6.291	0.501	0.7	1	0.5007	0.3848	1.301	0.22
11	5.790	0.494	0.7	1	0.4939	0.3848	1.283	0.22
12	5.296	0.488	0.7	1	0.4882	0.3848	1.269	0.21
13	4.808	0.483	0.7	1	0.4833	0.3848	1.256	0.21
14	4.325	0.468	0.7	1	0.4680	0.3848	1.216	0.20
15	3.857	0.453	0.7	1	0.4529	0.3848	1.177	0.18
16	3.404	0.438	0.7	1	0.4380	0.3848	1.138	0.17
17	2.966	0.423	0.7	1	0.4234	0.3848	1.100	0.16
18	2.542	0.409	0.7	1	0.4087	0.3848	1.062	0.15
19	2.134	0.394	0.7	1	0.3940	0.3848	1.024	0.14
20	1.740	0.379	0.7	1	0.3791	0.3848	0.985	0.13
21	1.361	0.364	0.7	1	0.3640	0.3848	0.946	0.12
22	0.997	0.349	0.7	1	0.3485	0.3848	0.906	0.11
23	0.648	0.332	0.7	1	0.3320	0.3848	0.863	0.10
24	0.316	0.316	0.7	1	0.3160	0.3848	0.821	0.09
	0							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45.

Pérdida de carga en la salida del difusor de la PTAR La Chira (Estado Optimizado).

DIFUSOR			Salida		Salinidad		Mareas	Pérdida total
Raiser Nº	Qemisor	Qraiser	K	8 h	h	8 h	8 h	8 h total
1	11.300	0.617	1	0.131	56.5	1.469	1.10	8.977
2	10.683	0.599	1	0.123	56.5	1.469	1.10	8.997
3	10.084	0.582	1	0.116	56.5	1.469	1.10	9.015
4	9.502	0.566	1	0.110	56.5	1.469	1.10	9.031
5	8.936	0.552	1	0.105	56.5	1.469	1.10	9.045
6	8.384	0.539	1	0.100	56.5	1.469	1.10	9.057
7	7.845	0.528	1	0.096	56.5	1.469	1.10	9.068
8	7.317	0.518	1	0.092	56.5	1.469	1.10	9.077
9	6.799	0.509	1	0.089	56.5	1.469	1.10	9.085
10	6.291	0.501	1	0.086	56.5	1.469	1.10	9.093
11	5.790	0.494	1	0.084	56.5	1.469	1.10	9.098
12	5.296	0.488	1	0.082	56.5	1.469	1.10	9.104
13	4.808	0.483	1	0.080	56.5	1.469	1.10	9.108
14	4.325	0.468	1	0.075	57.5	1.495	1.10	9.121
15	3.857	0.453	1	0.071	58.5	1.521	1.10	9.133
16	3.404	0.438	1	0.066	59.5	1.547	1.10	9.144
17	2.966	0.423	1	0.062	60.5	1.573	1.10	9.159
18	2.542	0.409	1	0.057	61.5	1.599	1.10	9.170
19	2.134	0.394	1	0.053	62.5	1.625	1.10	9.180
20	1.740	0.379	1	0.049	63.5	1.651	1.10	9.190
21	1.361	0.364	1	0.046	64.5	1.677	1.10	9.200
22	0.997	0.349	1	0.042	65.5	1.703	1.10	9.210
23	0.648	0.332	1	0.038	66.5	1.729	1.10	9.219
24	0.316	0.316	1	0.034	67.5	1.755	1.10	9.229
	0							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46.

Tabla comparativa de pérdida actual vs pérdida generada en la propuesta.

PTAR La Chira	
Configuración actual	Configuración optimizada
Pérdida en el vertedero = 1.294 m	Pérdida en el vertedero = 1.294 m
Pérdida en el difusor = 0.7624 m	Pérdida en el difusor = 0.1163 m
Pérdida en el emisor = 4.509 m	Pérdida en el emisor = 4.509 m
Pérdida en el tubo elevador = 0.246 m	Pérdida en el tubo elevador = 0.037 m
Pérdida por diferencia densidad = 1.541 m	Pérdida por diferencia densidad = 1.541 m
Pérdida por diferencia de mareas = 1.10 m	Pérdida por diferencia de mareas = 1.10 m
Pérdida total= 9.45 m	Pérdida total= 8.60 m

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Propuesta de modelo de dispersión

La configuración optimizada presentada en la Tabla 41 se ha utilizado para realizar el modelo de dispersión para campo cercano y campo lejano cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA), respectivamente.

3.4.2.1 Campo Cercano

En esta parte de la investigación se examinó el efecto de las corrientes marinas en la dilución del efluente en el campo cercano. Para evidenciar ello, en la Tabla 28 se muestra los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO y sólidos totales en suspensión. Sin embargo, en la Tabla 1 se menciona que dichos parámetros no deben superar los LMP hasta llegar a la superficie del océano. En la Tabla 47 se muestra la altura necesaria que necesita cada parámetro para cumplir los LMP en el campo cercano. En este caso los únicos que cumplen con estas condiciones son los parámetros Aceites y Grasas, y Sólidos Totales en Suspensión. Sin embargo, los parámetros Coliformes Termotolerantes, DBO y DQO no cumplen las concentraciones mínimas estipuladas en la norma.

En la Tabla 48 se muestra el rango de valores de velocidad que tiene el flujo en la superficie del océano en cada parámetro en los diferentes escenarios, una vez que el flujo se encuentre en la superficie del océano su gradiente de dilución va a depender únicamente de las velocidades de las corrientes marinas.

Tabla 47.

Altura necesaria para cumplir los LMP para los parámetros indicados con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO – SSE – OSO			NNO – SSE – OSO		
	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	2.08 – 2.65 m	1.85 – 2.30 m	1.61 – 1.95 m	2.08 – 2.65 m	1.85 – 2.30 m	1.61 – 1.95 m
Coliformes Termotolerantes NMP/100 mL	-	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	-	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno mg/L	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	0.32 - 0.58 m	0.28 – 0.55 m	0.31 - 0.58 m	0.32 - 0.58 m	0.28 – 0.55 m	0.31 - 0.58 m

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

Tabla 48.

Rango de valores de velocidades del flujo expulsado por el emisor submarino en la superficie del océano con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias y Condiciones extraordinarias	
	NNO - SSE - OSO	
	v = 0.1 - 0.3 m/s	
Aceites y grasas (mg/L)	0.24 – 0.34 m/s	
Coliformes Termotolerantes NMP/100 mL		
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L		
Demanda Química de Oxígeno mg/L		
Sólidos Totales en Suspensión mL/L		

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 49 se muestra el rango de valores de distancia horizontal para cada parámetro y escenario, una vez el efluente es expulsado desde la zona de los difusores hasta llegar a la superficie del océano. Cabe precisar que la distancia horizontal varía conforme cambia los valores de velocidades de las corrientes marinas.

Tabla 49.

Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO – SSE – OSO			NNO – SSE – OSO		
	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s	v = 0.1 m/s	v = 0.2 m/s	v = 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	29.30 - 86.29 m	31.07 - 94.82 m	29.34 - 90.47 m	28.21 - 87.82 m	30.44 - 93.82 m	28.84 - 88.47 m
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	28.81 - 88.53 m	31.00 - 93.35 m	29.39 - 90.23 m	28.71 - 93.53 m	31.00 - 95.35 m	29.39 - 90.23 m
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	29.11 - 89.78 m	31.00 - 93.35 m	29.39 - 90.23 m	29.11 - 88.78 m	31.30 - 94.35 m	29.39 - 91.23 m
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	24.70 - 69.63 m	31.04 - 93.83 m	29.39 - 89.23 m	28.31 - 88.78 m	31.04 - 94.35 m	29.39 - 89.23 m
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	28.45 - 88.82 m	31.07 - 94.12 m	29.30 - 88.47 m	28.45 - 87.82 m	31.07 - 94.12 m	29.30 - 88.47 m

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 50 se muestra los rangos de valores de tiempo del flujo expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano. Cabe resaltar que si las velocidades de las corrientes marinas aumentan el tiempo que se demora el flujo en llegar a la superficie del agua también se incrementará en condiciones ordinarias. Además, para condiciones extraordinarias tiene un incremento mínimo en el tiempo, debido a que el T90 es mayor en la condición ya mencionada que en condiciones ordinarias.

Tabla 50.

Rango de valores de tiempo en el cual el flujo tarda en llegar a la superficie del océano desde que es expulsado del emisor submarino con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO	SSE	OSO	NNO	SSE	OSO
	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	212 – 420 s	210 – 347 s	216 – 421 s	212 – 420 s	205 – 347 s	216 – 421 s
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	205 - 365 s	205 – 286 s	212 – 366 s	205 - 365 s	205 – 287 s	212 – 366 s
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	204 - 373 s	205 – 286 s	212 – 366 s	205 – 373 s	205 - 286 s	212 – 366 s
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	205 – 373 s	205 – 293 s	212 - 366 s	205 – 373 s	205 – 286 s	212 - 366 s
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	217 - 420 s	210 – 378 s	220 – 420 s	217 – 420 s	210 – 377 s	220 - 421 s

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 51 se muestra las concentraciones de cada parámetro en la superficie del océano, estas concentraciones aumentan en condiciones extraordinarias que en condiciones ordinarias. Cabe precisar que las concentraciones en la superficie dependen directamente de la factores físicos y químicos del océano y del efluente.

Tabla 51.

Rango de valores de distancia horizontal desde que el flujo es expulsado por los raisers hasta llegar a la superficie del océano con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias			Condiciones extraordinarias		
	NNO	SSE	OSO	NNO	SSE	OSO
	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s	v = 0.1 - 0.3 m/s
Aceites y grasas (mg/L)	1.07 – 1.27 mg/L	1.14 – 1.34 mg/L	1.08 – 1.26 mg/L	1.08 – 1.27 mg/L	1.14 – 1.40 mg/L	1.08 – 1.30 mg/L
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	2,170,000 - 7,040,000 NMP/100 mL	4,180,000 - 8,850,000 NMP/100 mL	2,180,000 - 6,770,000 NMP/100 mL	2,270,000 - 7,950,000 NMP/100 mL	4,360,000 - 10,000,000 NMP/100 mL	2,280,000 - 7,750,000 NMP/100 mL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	372 – 992 mg/L	719 – 1511 mg/L	379 – 1,158 mg/L	387 - 1360 mg/L	750 - 1712 mg/L	396 - 1,325 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	452 – 1422 mg/L	840 – 1780 mg/L	461 – 1422 mg/L	470 - 1604 mg/L	840 - 1780 mg/L	461 - 1.369 mg/L
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	30.18 – 30.59 mL/L	30.29 – 30.77 mL/L	30.18 – 30.57 mL/L	30.18 – 30.66 mL/L	30.30 – 30.86 mL/L	30.18 – 30.65 mL/L

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En los Anexos 36, 51 y 66 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Aceites y Grasas con configuración optimizada. Asimismo, en los Anexos 37, 52 y 67 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Aceites y Grasas con configuración optimizada. También, en los Anexos 38, 53 y 68 se presentan las concentraciones en la superficie del océano con respecto a la configuración real y optimizada en los diferentes escenarios para el parámetro Aceites y Grasas.

En los Anexos 39, 54 y 69 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales

($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Coliformes Termotolerantes con configuración optimizada. Asimismo, en los Anexos 40, 55 y 70 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Coliformes Termotolerantes con configuración optimizada. También, en los Anexos 41, 56 y 71 se presentan las concentraciones en la superficie del océano con respecto a la configuración real y optimizada en los diferentes escenarios para el parámetro Coliformes Termotolerantes.

En los Anexos 42, 57 y 72 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro DBO con configuración optimizada. Asimismo, en los Anexos 43, 58 y 73 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro DBO con configuración optimizada. También, en los Anexos 44, 59 y 74 se presentan las concentraciones en la superficie del océano con respecto a la configuración real y optimizada en los diferentes escenarios para el parámetro DBO.

En los Anexos 45, 60 y 75 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro DQO con configuración optimizada. Asimismo, en los Anexos 46, 61 y 76 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro DQO con configuración optimizada. También, en los Anexos 47, 62 y 77 se presentan las concentraciones en la superficie del océano con respecto a la configuración real y optimizada en los diferentes escenarios para el parámetro DQO.

En los Anexos 48, 63 y 78 se muestran el tipo de relación existente entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario dentro del campo cercano con condiciones normales ($T_{90} = 7$ hr) para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión con configuración optimizada.

Asimismo, en los Anexos 49, 64 y 79 se evidencian el tipo de relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente con corrientes marinas en el primer escenario, segundo escenario y tercer escenario en el campo cercano con condiciones extremas ($T_{90} = 24$ hr) para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión con configuración optimizada. También, en los Anexos 50, 65 y 80 se presentan las concentraciones en la superficie del océano con respecto a la configuración real y optimizada en los diferentes escenarios para el parámetro Sólidos Totales en Suspensión.

3.4.2.2 Campo Lejano

En esta parte de la investigación se examinó el efecto de las corrientes marinas en la dilución del efluente en el campo lejano. Para evidenciar ello, en la Tabla 28 se muestra los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO y sólidos totales en suspensión. Sin embargo, en la Tabla 2 se menciona que dichos parámetros no deben superar los ECA hasta llegar a la superficie del océano. En la Tabla 52 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el primer escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 43 – 82% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 5 – 11%.

Tabla 52.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones ordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	NNO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	5.24	10.00	4.75	18.20	4.52	26.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	17.02	25.00	16.27	48.20	15.85	70.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	9.41	16.00	8.87	30.40	8.55	44.20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	9.56	16.20	9.02	30.80	8.65	44.60
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	4.39	8.60	3.94	15.40	3.75	22.00

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 53 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 42 – 92% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 4 – 5%.

Tabla 53.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones ordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	SSE					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	4.35	9.60	4.20	18.40	3.99	26.20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	15.50	24.40	15.16	47.80	14.95	70.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	8.32	15.60	8.04	30.20	7.87	44.40
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	8.47	15.80	8.19	30.60	7.97	44.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	3.56	8.20	3.36	15.40	3.23	22.00

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 54 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 43 – 82% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 5 – 10%.

Tabla 54.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones ordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones ordinarias					
	OSO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	5.26	10.00	4.76	18.20	4.52	26.00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	16.86	24.80	16.28	48.20	15.86	70.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	9.43	16.00	8.88	30.40	8.56	44.20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	9.58	16.20	9.03	30.80	8.70	44.80
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	4.40	8.60	3.94	15.40	3.75	22.00

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 55 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 42 – 80% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 8 – 14%.

Tabla 55.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el primer escenario en condiciones extraordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	NNO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	20.86	29.00	18.25	52.40	16.91	74.20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	86.62	79.00	82.49	153.00	80.00	224.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	43.54	49.00	40.40	92.80	38.48	134.00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	44.30	49.60	41.02	93.80	39.05	136.00
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	16.29	24.20	13.90	42.80	12.84	60.40

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 56 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 43 – 90% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 6.5 – 7%.

Tabla 56.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el segundo escenario en condiciones extraordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	SSE					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	18.27	27.40	17.09	52.00	16.02	74.20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	82.10	77.20	79.95	151.00	78.35	224.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	39.97	47.20	38.52	91.80	37.27	134.00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	40.71	47.80	39.13	92.80	37.91	136.00
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	14.09	22.80	12.93	42.60	12.00	60.20

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

En la Tabla 57 muestra el largo y ancho que tiene la pluma generada del efluente en la superficie del océano en condiciones ordinarias ($T_{90} = 7$ hr) en cada parámetro. En el segundo escenario se evidencia que a mayor velocidad de la corriente aumenta en un 42 – 82% el largo de la pluma, en cambio en el ancho se redujo entre un 8 – 13%.

Tabla 57.

Largo y ancho que tiene la pluma generada en la superficie del océano para cumplir los ECA en el tercer escenario en condiciones extraordinarias con configuración optimizada.

Parámetros	Condiciones extraordinarias					
	OSO					
	v = 0.1 m/s		v = 0.2 m/s		v = 0.3 m/s	
	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)	Ancho (Km)	Largo (Km)
Aceites y grasas (mg/L)	20.68	28.80	18.26	52.40	16.92	74.20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	86.66	79.00	82.51	153.00	80.01	224.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	43.57	49.00	40.41	92.80	38.57	135.00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	44.08	49.40	41.03	93.80	39.14	136.00
Sólidos Totales en Suspensión (mL/L)	16.31	24.20	13.91	42.80	12.90	60.60

Fuente: Elaboración propia en base al modelo de dispersión del Visual Plumes

4 CONCLUSIONES

Objetivo 1:

- De acuerdo con la OMS el crecimiento poblacional se calculó con el método de crecimiento geométrico, el cual nos da un valor de 3'667,630 habitantes y lo comparamos con el método polinómico de grado 2 que tiene como valor 3'671,105 habitantes. El valor que se aproxima a los estatutos de crecimiento poblacional que tiene la OMS.
- El aumento poblacional porcentual de la PTAR La Chira para su último año de vida útil será 24.79% con respecto al año 2017.
- De acuerdo con el cálculo de proyección de caudal, tenemos el dato de la OEFA, el cual es 150 l/día, pero con las proyecciones que se han realizado con respecto a los datos recaudados del año 2012-2016; para el año 2033, la cantidad de agua residual será 353 l/día por habitante.
- El caudal para la PTAR La Chira se calculó con el método geométrico para una vida útil de 25 años, el cual nos brinda como resultado 1'293,883 L/día y este es comparado con el resultado que se obtuvo mediante el método polinómico de grado 2, el cual es 1'295,109 L/día. Los resultados de caudal son muy similares en ambos casos.

Objetivo 2:

- La pérdida total que se calculó en el diseño actual para el emisor de la PTAR La Chira es igual 9.45 mca, cabe resaltar que el resultado se obtiene de la pérdida en el vertedero, pérdida en el difusor, pérdida en el emisor, pérdida en el tubo elevador, pérdida por diferencia densidad y pérdida por diferencia de marea.
- El coeficiente de fricción del emisor submarino es inversamente proporcional al Número de Reynolds producidos en la zona de los difusores, de la misma manera sucede en los tubos elevadores con el coeficiente de fricción y el Número de Reynolds.
- El uso de diámetros pequeños es inversamente proporcional a las velocidades en los difusores y las pérdidas totales del emisor. Además, se debe de tener en cuenta la profundidad que va a tener el emisor submarino, ya que esto depende la dilución y dispersión del efluente en el océano ya sea en el campo cercano y campo lejano.
- La velocidad del efluente al ingreso del tramo de los difusores es igual a 2.5 m/s, y esta va disminuyendo a medida que se va expulsando el fluido en el mar.

Objetivo 3:

- Los parámetros de Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP), caso contrario con los parámetros de Sólidos Totales en Suspensión y Aceites y Grasas que si cumplen con la normativa en el campo cercano en todos los escenarios mencionados.
- Para el campo lejano los parámetros de Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales en Suspensión y Aceites y Grasas cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Las longitudes (ancho o largo) en condiciones extremas logran alcanzar entre 1.5 – 4.5 veces de las longitudes en condiciones normales en todos los escenarios mencionados.
- Se evidenció que a mayores velocidades de las corrientes marinas tiende a aumentar el grado de dilución, ya sea en condiciones normales o extremas. Cabe resaltar que si las concentraciones son muy elevadas el grado de dilución oscila en el rango de 35% – 55%, esto cambia con las concentraciones mínimas ya que el grado de dilución oscila en el rango de 4 % – 18%.
- Se concluye que si un parámetro cumple el campo cercano necesariamente debe de cumplir el campo lejano, caso contrario ocurre si el mismo parámetro cumple el campo lejano esto no necesariamente debe cumplir el campo cercano.
- Se demuestra que si la corriente marina va en dirección SSE va a generar una menor pluma en la superficie del Océano Pacífico con respecto a la dirección NNO y OSO.

Objetivo 4:

- La pérdida total que se calculó en el diseño actual para el emisor de la PTAR La Chira es igual 8.60 mca, con la configuración actual y la configuración optimizada se redujo la pérdida de carga total en un 91%.
- Las concentraciones de los parámetros generados en la superficie del océano de la configuración optimizada con respecto a la configuración actual se reducen entre 0 – 15%, cabe resaltar que las variaciones son mínimas cuando se producen velocidades máximas de la corriente marina en todos los escenarios mencionados.

5 RECOMENDACIONES

- La explosión demográfica migratoria no fue lo esperado y proyectado adecuadamente, pues en los dos últimos años se ha presenciado la llegada de más personas de lo previsto. Por ejemplo, de más de 700 mil ciudadanos del vecino país de Venezuela y de otros países y la cifra sigue en aumento cada día.
- Realizar campañas de concientización sobre el uso correcto de agua en los distintos distritos de Lima involucrados en la zona de estudio mediante programas de conservación y reutilización del agua en viviendas unifamiliares y multifamiliares, para reducir el volumen de agua residual generada diariamente por cada habitante. Por ejemplo, el agua que se utiliza en cada actividad diaria como aseo personal, lavado de alimentos entre otros, dentro de una familia debe ser usada para los servicios higiénicos.
- Se recomienda analizar otros tipos de válvulas de retención con diferentes coeficientes de contracción para mejorar la dilución y dispersión del efluente en el océano.
- La reutilización de aguas residuales tratadas para un uso exclusivamente agrícola en el Perú no es muy conocido, cabe resaltar que la calidad del agua que se va a utilizar para el riego en este sector es muy importante, ya que se debe mantener un margen con respecto a las concentraciones de contaminantes que tiene el fluido para no afectar el cultivo a nivel físico, químico y biológico.
- Al momento de llegar al fin de la vida útil de la PTAR la Chira, va a generar un caudal de 11 m³/s en la región Lima y estos van a ser eliminados por medio del emisor submarino. Este volumen generado puede contribuir para el cultivo de palta con una evapotranspiración de 5 mm/día y coeficiente de cultivo de 0.8. Esto puede contribuir al riego de aproximadamente de 400 hectáreas con un sistema presurizado y riego por goteo.

6 REFERENCIAS

- Abessi, O., & Roberts, P. J. W. (2018). Rosette Diffusers for Dense Effluents in Flowing Currents. *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(1), 06017024. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001403](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001403)
- Ahmed, W., Hamilton, K. A., Lobos, A., Hughes, B., Staley, C., Sadowsky, M. J., & Harwood, V. J. (2018). Quantitative microbial risk assessment of microbial source tracking markers in recreational water contaminated with fresh untreated and secondary treated sewage. *Environment International*, 117, 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.012>
- ANA. (2010a). Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rj_202-2010_1.pdf
- ANA. (2010b). Resolución Jefatural N° 274-2010-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/274_1_1.pdf
- ANA. (2011). Resolución Jefatural N° 106-2011-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/color3379.pdf>
- ANA. (2013a). Resolución Directoral N° 002-2013-ANA-DGCRH. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.ana.gob.pe/media/587563/rd_002_2013_ana_dgcrh.pdf
- ANA. (2013b). Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.224_con_reglamento_autorizaciones_de_vertimientos_6_0.pdf
- ANA. (2016a). Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf
- ANA. (2016b). Resolución Jefatural N° 030-2016-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._ndeg_30-2015-

ana.pdf

- ANA. (2017). Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua (M. E. Palacios Burbano & K. Holzner (eds.)). Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH). <https://hdl.handle.net/20.500.12543/900>
- ANA. (2018). Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._056-2018-ana_0.pdf
- ANA. (2019). Marco Legal. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.ana.gob.pe/consejo-directivo/funciones>
- ANH. (2009). Conceptos básicos de geología y geofísica. República de Colombia. http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Metodos-de-Visualizacion/CONCEPTOS_BASICOS_GEOLOGA_Y_GEOFISICA/CARTILLA_geologia_geofisica_c4.pdf
- Ardalan, H., & Vafaei, F. (2018). Hydrodynamic classification of submerged Thermal-Saline Inclined Single-Port discharges. *Marine Pollution Bulletin*, 130, 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.052>
- Ardalan, H., & Vafaei, F. (2019). CFD and Experimental Study of 45° Inclined Thermal-Saline Reversible Buoyant Jets in Stationary Ambient. *Environmental Processes*, 6(1), 219–239. <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00356-z>
- Baum, M., & Gibbes, B. (2020). Field-Scale Numerical Modeling of a Dense Multiport Diffuser Outfall in Crossflow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001635](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001635)
- Bonan, G. B., & Doney, S. C. (2018). Climate, ecosystems, and planetary futures: The challenge to predict life in Earth system models. *Science*, 358(6375). <https://doi.org/10.1126/science.aam8328>
- Bondur, V. G., Dulov, V. A., Murynin, A. B., & Ignatiev, V. Y. (2016). Retrieving sea-wave spectra using satellite-imagery spectra in a wide range of frequencies. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 52, 637–648.

<https://doi.org/10.1134/S0001433816060049>

Cebe, K., & Balas, L. (2018). Monitoring and modeling land-based marine pollution. *Regional Studies in Marine Science*, 24, 23–39. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2018.06.010>

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006a). Flujo de tuberías. In *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones* (pp. 329–330). McGraw Hill.

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006b). Flujo de tuberías. In *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones* (p. 340). McGraw Hill.

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006c). Flujo de tuberías. In *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones* (pp. 348–349). McGraw Hill.

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006d). Flujo de tuberías. In *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones* (pp. 347–352). McGraw Hill.

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. (2006e). Flujo de tuberías. In *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones* (pp. 331–332). McGraw Hill.

Chen, Y. L., & Hsiao, S. C. (2018). Numerical modeling of a buoyant round jet under regular waves. *Ocean Engineering*, 161, 154–167. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.093>

CONAGUA. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Estados Unidos Mexicanos. [ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Gu%EDa para el dise%F1o de Emisores submarinos.pdf](ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros/pdf/2007/Gu%EDa%20para%20el%20dise%F1o%20de%20Emisores%20submarinos.pdf)

Congreso de la República del Perú. (2006). Norma Técnica de Edificación S.090.PTAR. El Peruano. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AA381897B934542205257DC7005EC0C3/\\$FILE/OS.090.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AA381897B934542205257DC7005EC0C3/$FILE/OS.090.pdf)

Conopuma Rivera, C. D. (2018). Recuperación marina costera de la bahía callao en el marco del saneamiento de las aguas residuales [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2496>

DHN. (2015). Mareas. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.dhn.mil.pe/mareas>

- Duer, M. J., & Salas, H. J. (1996). Uso de la válvulas “Duckbill” para mantener la eficiencia de difusores de emisores submarinos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente [CEPIS]. https://www.redvalve.com/uploads/Foreign_Documents/Spanish/Uso_en_Difusores_de_Emisarios_Submarinos.pdf
- Fang, S., Chen, Y., Xu, Z., Otoo, E., & Lu, S. (2019). An improved integral model for a non-buoyant turbulent jet in wave environment. *Water (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040765>
- Fox, S., Boxall, J., & Collins, R. (2018). Derivation and Validation of a Leakage Model for Longitudinal Slits in Polyethylene Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001469](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001469)
- Frick, W.E, Roberts, P. J. ., Davis, L. ., Keyes, J., Baumgartners, D. ., & George, G. . (2001). VISUAL PLUMES MANUAL: “Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division. <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/VP-Manual.pdf>
- Frick, Walter E. (2004). Visual Plumes mixing zone modeling software. *Environmental Modelling & Software*, 19(7–8), 645–654. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.08.018>
- Gücüyen, E., Erdem, R. T., & Gökkuş, Ü. (2019). Numerical modelling of sudden contraction in pipe flow. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(3), 903–916. <http://www.eds.yildiz.edu.tr/AjaxTool/GetArticleByPublishedArticleId?PublishedArticleId=3884> .
- IMARPE. (2017). Crucero regional conjunto de investigación oceanográfica en el pacífico sudeste. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I017805040000000000000000
- IMARPE. (2019a). ACERCA DE IMARPE. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I016900000000000000000000
- IMARPE. (2019b). Anomalía de altura diaria del mar peruano. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano.

http://www.imarpe.gob.pe/argen/uprsig/altimetria2019_archivo/altimetriadiaria2019.html

IMARPE. (2019c). Anomalía del nivel medio del mar. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano.

http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0178030104000000000000

IMARPE. (2019d). Temperatura superficial del mar y anomalías térmicas, Salinidad Superficial del Mar. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano.

http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0178030103000000000000

IMARPE. (2019e). Vientos y afloramiento costero. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano.

http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0178030102000000000000

Inan, A. (2019). Modeling of Hydrodynamics and Dilution in Coastal Waters Waters. *Water*, 11(1), 83. <https://doi.org/10.3390/w11010083>

İnan, A., & Cebe, K. (2019). Modeling of near-field dilution of heated discharges on tekirdağ coasts. *Eurasian Journal of Environmental Research*, 3(2), 41–46. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejere/issue/49620/596670>

İnan, A., & Yılmaz, N. (2018). Sıcak su deniz deşarjlarının yakın alan dağılımının modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018(2018), 875–886. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416390>

Jiang, M., & Law, A. W.-K. (2018). Mixing of swirling inclined dense jets – A numerical study. *Journal of Hydro-Environment Research*, 21, 118–130. <https://doi.org/10.1016/J.JHER.2018.09.004>

Jiang, M., Law, A. W. K., & Lai, A. C. H. (2019). Turbulence characteristics of 45° inclined dense jets. *Environmental Fluid Mechanics*, 19(1), 27–54. <https://doi.org/10.1007/s10652-018-9614-8>

Jiang, M., Law, A. W. K., & Song, J. (2019). Mixing characteristics of inclined dense jets with different nozzle geometries. *Journal of Hydro-Environment Research*, 27, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2019.10.003>

King, A. T., & Cowen, E. A. (2019). Near-Field Model for a High-Momentum Negatively

- Buoyant Line Source Within a Three-Dimensional Hydrostatic Lake Model. *Water Resources Research*, 55(2), 1337–1365. <https://doi.org/10.1029/2018WR022996>
- Lapprasert, S., Pornprommin, A., Pornprommin, S., & Chittaladakorn, S. (2018). Energy Balance of a Trunk Main Network in Bangkok, Thailand. *Journal - AWWA*, 110(7), 18–27. <https://doi.org/10.1002/awwa.1053>
- Longyang, Q. (2019). Assessing the effects of climate change on water quality of plateau deep-water lake - A study case of Hongfeng Lake. *Science of The Total Environment*, 647(10), 1518–1530. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.031>
- Loya-Fernández, Á., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Zubcoff Vallejo, J. J., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2018). Quantifying the efficiency of a mono-port diffuser in the dispersion of brine discharges. *Desalination*, 431, 27–34. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2017.11.014>
- Magrama. (2014). Descripción general de los modelos del software visual plumas. MEDVSA. [http://www.medvsa.es/PDF/VISUAL PLUMES.pdf](http://www.medvsa.es/PDF/VISUAL_PLUMES.pdf)
- MINAGRI. (2010). Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf>
- MINAGRI. (2017). Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2017/ds18-2017-minagri.pdf>
- MINAM. (2008). Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2008-minam.pdf
- MINAM. (2009a). Deceto Supremo No 012-2009-MINAM. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_012-2009-minam.pdf
- MINAM. (2009b). Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM. Plataforma Digital Única Del

- Estado Peruano. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds-019-2009-minam-a.pdf>
- MINAM. (2009c). Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/decreto_supremo_023_2009_minam.pdf
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- MINAM. (2014). Misión y visión. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <http://www.minam.gob.pe/el-ministerio/mision-y-vision/>
- MVCS. (2009). Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf
- MVCS. (2011). Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2011_003.pdf
- MVCS. (2012a). Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-ds-n-003-2011-vivienda-que-aprobo-el-reglamento-decreto-supremo-n-010-2012-vivienda-759548-6/>
- MVCS. (2012b). Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23523/RM-116-2012-VIVIENDA.pdf>
- MVCS. (2013). Decreto Supremo. N° 273-2013 VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23087/RM-273-2013-VIVIENDA.pdf>
- MVCS. (2015). Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/DS-001-2015-VIVIENDA.pdf>

- MVCS. (2018, March 13). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Chira permite recuperar playas ubicadas entre Miraflores y Villa El Salvador. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/7202-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-la-chira-permite-recuperar-playas-ubicadas-entre-miraflores-y-villa-el-salvador>
- Nigussie, Y., Werf, E. van der, Zhu, X., Simane, B., & Ierland, E. C. van. (2018). Evaluation of Climate Change Adaptation Alternatives for Smallholder Farmers in the Upper Blue-Nile Basin. *Ecological Economics*, 151, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.006>
- OEFA. (2008). REGLAMENTO DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DEL ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=26390
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Ostoich, M., Ghezzi, M., Umgiesser, G., Zambon, M., Tomiato, L., Ingegneri, F., & Mezzadri, G. (2018). Modelling as decision support for the localisation of submarine urban wastewater outfall: Venice lagoon (Italy) as a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 34306–34318. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3316-0>
- Quijano Vargas, J. J. (2011). Simulación de la dinamica del viento superficial sobre la costa de ica utilizando el modelo numérico de la atmósfera de mesoescala mm5 [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2011/JQuijano_tesisUNMSM.pdf
- SEDAPAL. (2012). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EMISARIOS SUBMARINOS TABOADA Y LA CHIRA. Blog Sedapal. <http://blogsedapal.blogspot.com/2012/12/plantasde-tratamiento-de-aguas.html>
- SEDAPAL. (2015). EPS - PMO. SUNASS. https://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/eps/estudios-tarifarios/planes-maestros-optimizados-pmo/cat_view/419-regulacion-tarifaria/211-planes-maestros-optimizados/212-planes-maestros-optimizados/320-lima-sedapal-s-a-emapahuacho-s

- SEDAPAL. (2017). Caudal en plantas de tratamiento de aguas residuales de lima metropolitana, 2013-2016. SEDAPAL. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/indices_tematicos/cap02059.xls
- SEDAPAL. (2019). Manual Técnico Tubería HDPE Minería e Industria. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. http://www.sedapal.com.pe/Contenido/licitaciones/LP-0014-2017-SEDAPAL-INTEGRADA/ITEM_3_-_ET-PASAJES_SN_PEDRO_SAN_PATRICIO-CHORRILLOS/21_OTROS/Manual-Tecnico-Tuberia-HDPE-Mineria-e-Industria.-Rev-0.pdf
- Shrivastava, I., & Adams, E. (2019a). Effect of Shallowness on Dilution of Unidirectional Diffusers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001640](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001640)
- Shrivastava, I., & Adams, E. E. (2019b). Mixing of tee diffusers in shallow water with crossflow: A new look. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001574)
- Sotelo Davila, G. (1982). hidráulica general. In hidráulica general (pp. 183–196). LIMUSA.
- Villa Alonso, A. (2015). Resumen del diseño hidráulico del emisario submarino de Castropol en Asturias [Universidad de Cantabria]. <http://hdl.handle.net/10902/6945>
- Yan, X., & Mohammadian, A. (2019). Numerical modeling of multiple inclined dense jets discharged from moderately spaced ports. *Water (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/w11102077>
- Yan, X., Mohammadian, A., & Chen, X. (2019). Three-dimensional numerical simulations of Buoyant Jets discharged from a Rosette-type multiport diffuser. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/jmse7110409>

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1: Resolución Directoral N° 002-2013-ANA-DGCRH

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 002-2013-ANA-DGCRH

Lima, 07 ENE. 2013

VISTO:

El expediente administrativo ingresado con CUT N° 51286, presentado por la **CONCESIONARIA LA CHIRA S.A** identificada con Registro Único de Contribuyentes N° 20451550561, con domicilio en Av. Paseo de la República N° 4675, distrito de Chorrillos, provincia y departamento de Lima, sobre autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas provenientes del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira-PTAR La Chira"; y,

CONSIDERANDO:

Que, según establece el artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambientales y de Salud, sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP);

Que, de acuerdo al artículo 138° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, para el otorgamiento de autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, se requiere contar con la opinión técnica de la autoridad ambiental sectorial, la cual se expresa mediante la certificación ambiental correspondiente;

Que, la recurrente solicitó autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas provenientes del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira-PTAR La Chira", ubicada en el distrito de Chorrillos, provincia y departamento de Lima;

Que, dicha solicitud cumple con los requisitos generales establecidos en el numeral 137.2 del artículo 137° del Reglamento de la Ley Recursos Hídricos, por lo que se admite a trámite;

Que, el expediente administrativo cuenta con opinión favorable de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud mediante Informe N° 001786-2012/DSB/DIGESA, remitido con Oficio N° 0736-2012/DSB/DIGESA;

Que, respecto a la opinión favorable de la autoridad ambiental, ésta se encuentra cumplida con la Resolución Directoral N° 172-2012-VIVIENDA/VMCS-DNS, que aprobó el Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira-PTAR La Chira";

Que, con Informe Técnico N° 011-2012-ANA-DGCRH/LCP, se emite opinión técnica favorable respecto a la autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas, recomendando lo siguiente:

- Otorgar autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas a favor de la recurrente, por un plazo de dos (02) años, contados a partir de la fecha de inicio de operación del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira-PTAR La Chira", para lo cual Concesionaria La Chira S.A. deberá informar a esta Autoridad la fecha de inicio de operación no menor de quince (15) días hábiles, entendiéndose como inicio de operaciones desde la generación de vertimiento (puesta en marcha de la PTAR La Chira).
- CONCESIONARIA LA CHIRA S.A. deberá asegurarse de no hacer uso del by-pass de la PTAR La Chira (proyectada) la cual plantea el uso de la PTAR La Chira Existente, cuyo único tratamiento es un cribado y su descarga es a orilla de playa, a fin de no ir en desmedro de los objetivos del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira - PTAR La Chira" que contemplan el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor, así como no afectar los recursos hidrobiológicos de la zona.

- c. CONCESIONARIA LA CHIRA S.A, deberá garantizar la óptima operación y eficiencia de tratamiento de las aguas residuales municipales a ser generadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira, para el cumplimiento de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, de manera que se garantice el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor, según la disposiciones establecidas por el MINAM.
- d. La recurrente deberá realizar el control de los siguientes parámetros: pH, T°C, DBO₅, DQO, SST, A&G, Nitrógeno Amoniacal, Fosfatos, Arsénico Total; Mercurio Total, Cadmio Total, Cromo Total, Cromo VI, Cobre Total, Plomo Total, Níquel Total, Zinc Total, Nitratos, Sulfuros, Hidrocarburos Totales de Petróleo, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes en el efluente tratado y cuerpo receptor, y OD sólo en el cuerpo receptor, además del caudal vertido y volúmenes acumulados de aguas residuales municipales tratadas al mar. Los análisis de agua deberán ser realizados por un laboratorio acreditado por INDECOPI. Para la realización del monitoreo se deberá tomar en cuenta lo establecido en el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial" aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA. La frecuencia del control deberá ser de acuerdo a las frecuencias de muestreos indicadas:
- Para coliformes totales y termotolerantes en Puntos de Zona de protección Costera, Estaciones de Control de dilución y Control de Calidad del Efluente: cada 6 días con un mínimo de 5 muestras al mes.
 - Para coliformes totales y termotolerantes en Estaciones de Control de dilución: Mensual.
 - Para el resto de parámetros de control en todos los puntos de monitoreo: Mensual.

Punto de control de calidad del Efluente

PUNTO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN	Coordenadas UTM (WGS 84 - Zona 18)	
CA-1	Estación Cámara de carga emisor	8 649 762 N	279 109 E

Punto de monitoreo de la Zona de Protección Costera

PUNTO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN	Coordenadas UTM (WGS 84 - Zona 18)		Zona de Muestreo
CA-02	Estación Submareal: a 0,70km frente a la playa "Las Cascadas".	8 656 805 N	278 619 E	S
CA-06	Estación Submareal: a 0,50 km frente a la playa "Agua Dulce".	8 655 023 N	278 916 E	S
CA-12	Estación Submareal: a 0,45 km frente al camino entre las playas "Herradura" y "La Chira".	8 652 583 N	277 640 E	S;F
CA-21	Estación Submareal: a 0,80 km frente a la playa "La Chira", área de influencia indirecta	8 650 349 N	277 915 E	S;M;F
CA-24	Estación Submareal: mar adentro a 2,7 km sureste del colector "La Chira".	8 647 136 N	279 230 E	S;M;F
CA-27	Estación Submareal: mar adentro a 1,5 km sureste del colector "La Chira".	8 648 582 N	277 592 E	S;M;F
CA-43	Estación Submareal: a 0,45 km frente a la playa "Villa".	8 648 846 N	279 900 E	S;F
CA-45	Estación Submareal: a 0,45 km frente a la playa "Villa".	8 647 925 N	282 060 E	S;F
CA-47	Estación Submareal: a 0,45 km frente a la playa "Pantanos".	8 647 041 N	284 118 E	S;F
CA-49	Estación Submareal: a 0,40 km frente a la playa "Conchan".	8 646 184 N	286 140 E	S;F
CA-53	Estación Submareal: a 0,40 km frente a la playa "Conchan".	8 644 220 N	289 787 E	S;F
CA-57	Estación Submareal: mar adentro a 2,4 km de la playa "La Herradura".	8 653 289 N	276 301 E	S;F
CA-61	Estación Submareal: mar adentro a 1,8 km de la playa "Villa".	8 645 650 N	283 784 E	S;M;F

S: Superficial, M: Medio, F: Fondo

Estaciones de Control de dilución de contaminantes en agua de mar

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM WGS 84		ZONA DE MUESTREO
	ESTE	NORTE	
P-01	276 807	8 647 963	S;M;F
P-02	276 019	8 645 718	S;M;F
P-03	279 274	8 645 587	S;M;F
P-04	277 760	8 644 306	S;M;F
P-05	279 646	8 647 454	S;M;F
P-06	276 378	8 650 639	S;M;F
P-07	275 280	8 648 087	S
P-08	275 049	8 649 089	S
P-09	279 690	8 644 198	S

S=Superficial; M=Medio; F=Fondo

El reporte de los resultados deberán ser remitidos a la Autoridad Nacional del Agua de manera trimestral y los resultados deberán ser sistematizados y presentados en formato impreso y digital editable, según formato aprobado por la Autoridad Nacional del Agua, indicando en el caso del cuerpo receptor las coordenadas UTM (WGS84) de los puntos de control. Este reporte deberá ser remitido como máximo a la semana siguiente de culminado el trimestre correspondiente.

- e. Se determina como zona de Mezcla (exclusión marina) para el cumplimiento de los ECA-Agua, el área delimitada por los vértices del polígono cuyas coordenadas UTM se presentan a continuación:

Coordenadas de la Zona de Mezcla (exclusión marina)

VÉRTICE	COORDENADAS UTM (WGS 84, Zona 18)	
	Este	Norte
1	274954	8649180
2	275508	8649159
3	277608	8647325
4	278631	8647091
5	278972	8646025
6	279847	8644906
7	280102	8644224
8	279729	8643978
9	278333	8644746
10	276979	8643552
11	275913	8643190
12	274954	8643691
13	275029	8644426
14	276297	8646259
15	274986	8648647

- Los ECA-Agua de la Categoría 2, Sub Categoría 3 deberán cumplirse fuera de la Zona de Mezcla (exclusión marina).

- Al interior de esta Zona estará prohibida toda actividad de pesca recreativa y comercial, así como la extracción de moluscos bivalvos. Para tales efectos, CONSORCIO LA CHIRA S.A. deberá demarcar la Zona de Mezcla (exclusión marina) con boyas flotantes ubicadas cada 500 m sobre el perímetro de la misma, las que deberán tener un aviso de prohibición cuyas especificaciones técnicas deberán contar con la opinión favorable de la Dirección General de Capitanías y Guardacostas (DICAPI) y la Autoridad Nacional del Agua.
- f. De conformidad con el artículo 136° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, la CONCESIONARIA LA CHIRA S.A. deberá disponer de sistemas de medición de caudales de aguas residuales tratadas y reportar los resultados de la medición, precisando los caudales y volúmenes acumulados de aguas residuales municipales tratadas vertidas al mar mediante el emisor submarino, según lo dispuesto en el numeral d) de la presente resolución.

Que, en el referido informe técnico se precisa, respecto a la clasificación del cuerpo receptor mar frente a playa La Chira la cual se encuentra dentro de la "Categoría 2: Actividades marino costeras Sub categoría 3: Otras Actividades", según lo establecido en la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA modificado por la Resolución Jefatural N° 489-2010-ANA;

Con el visto de Oficina de Asesoría Jurídica y en uso de las facultades conferidas por el artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, de lo establecido en su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, y en aplicación de lo dispuesto por el artículo 32° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- Otorgar a **CONCESIONARIA LA CHIRA S.A.** autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas, provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales La Chira, de los distritos de Lima Sur: Villa El Salvador, San Isidro, Miraflores, Barranco, Chorrillos y Santiago de Surco, ubicado en el distrito Chorrillos, provincia y departamento Lima, cuya descarga se efectuará al mar frente a la playa La Chira, clasificado con la Categoría 2 "Actividades marino costeras" Sub-Categoría 3: Otras actividades, por un caudal máximo de 11,3 m³/s y un volumen anual equivalente a **356 356 800 m³**, bajo el régimen de 24 horas/día y 365 días/año, a través de un emisario submarino conformado por una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) de DN 2 400 mm de diámetro, PE 100. El trazo del emisor se inicia en una cámara de carga situada en la PTAR La Chira y finaliza en un tramo difusor de 500 m de longitud está compuesto por 22 tubos elevadores (raisers) separados 24 m cada uno; cabe precisar, que las boquillas difusoras son del tipo "pico de pato" (duckbill) y perpendiculares al emisario submarino, de acuerdo al siguiente detalle:

DESCRIPCIÓN DEL EFLUENTE	VOLUMEN (m³)	CAUDAL (l/s)	RÉGIMEN	CUERPO RECEPTOR
Aguas residuales municipales tratadas * de la PTAR La Chira	356 356 800	11,3	Continuo	Mar frente a la Playa La Chira
Volumen Total	356 356 800			

Ubicación del Emisario Submarino La Chira y Difusor

VÉRTICE	Coordenadas UTM (WGS 84-Zona 18)*	
Inicio	8 649 768 N	279 119 E
Tramo Difusor	8 646 911 N	277 804 E
Final	8 646 457 N	277 595 E

(*): A ser verificada en la inspección, una vez que el sistema de tratamiento sea puesto en operación.

ARTÍCULO 2°.- El plazo de vigencia de la autorización otorgada en el artículo precedente, es de dos (02) años, contados a partir de la fecha de inicio de operación del proyecto "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira-PTAR La Chira", para lo cual Concesionaria La Chira S.A. deberá informar a esta Autoridad la fecha de inicio de la puesta en marcha de la PTAR La Chira, con una anticipación de quince (15) días hábiles.

ARTÍCULO 3°.- Disponer que la **CONCESIONARIA LA CHIRA S.A.**, quede sujeta al cumplimiento de las siguientes obligaciones, respecto del vertimiento autorizado:

- 3.1 Cumplir con lo señalado en el séptimo considerando de la presente resolución.
- 3.2 Controlar el vertimiento autorizado en los puntos de control indicados en el literal d) y el cumplimiento de la delimitación de la zona de mezcla establecido en el literal e), consignados en la parte considerativa de la presente resolución.
- 3.3 Pagar la retribución económica por el vertimiento de agua residual municipal tratada al mar frente a la zona La Chira, por un volumen anual de 356 356 800 m³.

ARTÍCULO 4°.- Establecer que el vertimiento municipal autorizado comprende únicamente a las aguas residuales municipales tratadas a ser generadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisario Submarino La Chira – PTAR La Chira, ubicado en el distrito Chorrillos, provincia y departamento Lima, de **CONCESIONARIA LA CHIRA S.A.**, las mismas que serán sometidas a un tratamiento preliminar con unidades de tratamiento de un (01) pozo de gruesos, seis (06) canales de desbaste de sólidos gruesos, un canal de desbaste de sólidos finos que tiene seis (06) tamices finos de 6 mm de luz de paso, seis (06) canales de desarenador – desengrasador, una arqueta de bombeo de vaciados y un tratamiento avanzado consistente en seis (06) microtamices de 1 mm de luz de paso, una arqueta de desviación de caudal, una (01) arqueta de carga del emisario, para finalmente ser descargadas al mar a través de un emisor submarino de 3 645m de longitud, el cual está provisto de un difusor de 500 m.

ARTÍCULO 5°.- Precisar que la ubicación del punto de vertimiento autorizado, así como las condiciones de disposición final y la ubicación de los puntos de control en el cuerpo receptor deberán ser verificadas en la inspección a ejecutar por la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín. El control de la calidad del efluente tratado y cuerpo receptor se deberá efectuar en función a esta verificación.

ARTÍCULO 6°.- Notificar la presente resolución a la **CONCESIONARIA LA CHIRA S.A.**

ARTÍCULO 7°.- Poner en conocimiento de la presente resolución a la Dirección Nacional de Saneamiento del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, a la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, Dirección General de Capitanías y Guardacostas y remitir copia a la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín y a la Oficina de Régimen Económico del Agua de la Dirección de Administración de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua.

Regístrese y comuníquese,

Quím M. Sc. **BETTY CHUNG TONG**
Directora

Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos
Autoridad Nacional del Agua

~~000085~~

7.3 Anexo 3: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permisible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permisible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 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.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOP.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1

7.4 Anexo 4: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

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

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como 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; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₈ - C ₂₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{\text{CA bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	
Arsénico	mg/L	0,1		0,2	
Bario	mg/L	0,7		**	
Berilio	mg/L	0,1		0,1	
Boro	mg/L	1		5	
Cadmio	mg/L	0,01		0,05	
Cobre	mg/L	0,2		0,5	
Cobalto	mg/L	0,05		1	
Cromo Total	mg/L	0,1		1	
Hierro	mg/L	5		**	
Litio	mg/L	2,5		2,5	
Magnesio	mg/L	**		250	
Manganeso	mg/L	0,2		0,2	
Mercurio	mg/L	0,001		0,01	
Níquel	mg/L	0,2		1	
Plomo	mg/L	0,05		0,05	
Selenio	mg/L	0,02		0,05	
Zinc	mg/L	2		24	

ORGÁNICO

Bifenilos Policlorados

Bifenilos Policlorados (PCB)	μg/L	0,04		0,045	
------------------------------	------	------	--	-------	--

PLAGUICIDAS

Paratión	μg/L	35		35	
----------	------	----	--	----	--

Organoclorados

Aldrin	μg/L	0,004		0,7	
Clordano	μg/L	0,006		7	
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	μg/L	0,001		30	
Dieldrin	μg/L	0,5		0,5	
Endosulfán	μg/L	0,01		0,01	
Endrin	μg/L	0,004		0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μg/L	0,01		0,03	
Lindano	μg/L	4		4	

Carbamato

Aldicarb	μg/L	1		11	
----------	------	---	--	----	--

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000	
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**	
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**	

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 (b) Después de la filtración simple.
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

7.6 Anexo 6: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el primer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.7 Anexo 7: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.8 Anexo 8: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.9 Anexo 9: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.10 Anexo 10: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el primer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.11 Anexo 11: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.12 Anexo 12: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el primer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.13 Anexo 13: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.14 Anexo 14: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el primer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.15 Anexo 15: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.16 Anexo 16: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.17 Anexo 17: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.18 Anexo 18: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.19 Anexo 19: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.20 Anexo 20: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.21 Anexo 21: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.22 Anexo 22: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.23 Anexo 23: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.24 Anexo 24: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.25 Anexo 25: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.26 Anexo 26: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.27 Anexo 27: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.28 Anexo 28: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.29 Anexo 29: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.30 Anexo 30: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.31 Anexo 31: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.32 Anexo 32: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.33 Anexo 33: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.34 Anexo 34: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.35 Anexo 35: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración real de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.36 Anexo 36: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.37 Anexo 37: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.38 Anexo 38: Concentración en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas en la PTAR La Chira.

7.39 Anexo 39: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.40 Anexo 40: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.41 Anexo 41: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes en la PTAR La Chira.

7.42 Anexo 42: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.43 Anexo 43: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.44 Anexo 44: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.45 Anexo 45: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.46 Anexo 46: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.47 Anexo 47: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.48 Anexo 48: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el primer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.49 Anexo 49: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el primer escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el primer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.50 Anexo 50: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de solidos totales en suspensión en la PTAR La Chira.

7.51 Anexo 68: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.52 Anexo 52: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.53 Anexo 53: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas en la PTAR La Chira.

7.54 Anexo 54: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.55 Anexo 55: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.56 Anexo 56: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes en la PTAR La Chira.

7.57 Anexo 57: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.58 Anexo 58: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.59 Anexo 59: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.60 Anexo 60: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.61 Anexo 61: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.62 Anexo 62: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.63 Anexo 63: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el segundo escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.64 Anexo 64: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el segundo escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el segundo escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.65 Anexo 65: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de solidos totales en suspensión en la PTAR La Chira.

7.66 Anexo 66: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.67 Anexo 67: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de aceites y grasas en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.68 Anexo 68: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de aceites y grasas en la PTAR La Chira.

7.69 Anexo 69: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.70 Anexo 70: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de coliformes termotolerantes en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.71 Anexo 71: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de coliformes termotolerantes en la PTAR La Chira.

7.72 Anexo 72: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.73 Anexo 73: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.74 Anexo 74: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.75 Anexo 75: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.76 Anexo 76: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de demanda química de oxígeno y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de demanda química de oxígeno en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.77 Anexo 77: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno en la PTAR La Chira.

7.78 Anexo 78: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones normales del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tercer escenario con condiciones normales con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.79 Anexo 79: (a) Relación entre la dilución del efluente con la altura de flujo del efluente en el tercer escenario con condiciones extremas del parámetro de sólidos totales en suspensión y (b) relación entre la distancia horizontal de flujo del efluente con la altura de flujo del efluente del parámetro de sólidos totales en suspensión en el tercer escenario con condiciones extremas con la configuración optimizada de la PTAR La Chira.

(a)

(b)

7.80 Anexo 80: Dilución en la superficie del océano para las corrientes marinas en condiciones normales y condiciones extremas del parámetro de solidos totales en suspensión en la PTAR La Chira.