

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA BIOLÓGICO MBBR EN LA
AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE TRATAMIENTO EN PTARI
EXISTENTE PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE
ALIMENTOS”**

Presentada por:

KEVIN ÁNGEL BALAREZO SÁNCHEZ

Trabajo Monográfico para Optar el Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima - Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA BIOLÓGICO MBBR EN IA
AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD DE TRATAMIENTO EN PTARI
EXISTENTE PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE
ALIMENTOS”**

Presentada por:

KEVIN ÁNGEL BALAREZO SÁNCHEZ

**Trabajo Monográfico para Optar el Título de
INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

Ph.D. Sergio Pacsi Valdivia
PRESIDENTE

Mg. Sc. Víctor Miyashiro Kiyari
MIEMBRO

Dra. Rosemary Vela Cardich
MIEMBRO

Dra. Rosemary Vela Cardich
ASESORA

AGRADECIMIENTOS

Hubiera sido imposible la realización del presente trabajo monográfico sin la intervención de determinadas personas e instituciones, por ello es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas; expresándoles mis más sinceros agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera a la ingeniera Yasmín Castañeda, ingeniera de procesos en la empresa SPENA GROUP S.A.C; por su asesoría, apoyo y paciencia durante el desarrollo del presente trabajo monográfico.

A la ingeniera Rosemary Vela, docente del Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología de la UNALM, por su asesoría técnica, amabilidad y disponibilidad.

A mis padres Amado Balarezo y Zoila Sánchez, por su lucha, tenacidad y deseos sinceros de superación hacia mi persona.

A la empresa SPENA GROUP S.A.C; quien implementó las PTARI estudiadas en el presente documento y brindó acceso a información utilizada en el presente estudio.

Al ingeniero Lizardo Visitación, docente del Departamento de Química de la UNALM, asesor del presente trabajo monográfico, por los consejos brindados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos secundarios.....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. MARCO LEGAL AMBIENTAL.....	3
2.1.1. Decreto supremo n°001-2015-vivienda.....	3
2.1.2. Decreto supremo n°021-2009-vivienda.....	3
2.1.3. Decreto supremo n°010-2012-vivienda.....	3
2.1.4. Decreto supremo n° 003-2011-vivienda	4
2.1.5. Resolución de consejo directivo n°044-2012-sunass-cd	4
2.1.6. Resolución de consejo directivo n° 025-2011-sunass-cd	4
2.1.7. Resolución ministerial n°116-2012-vivienda	4
2.2. INDUSTRIA DE ALIMENTOS	4
2.3. INDUSTRIA DE GOLOSINAS	5
2.4. PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE GOLOSINAS	7
2.5. CARACTERÍSTICAS DE AGUA RESIDUAL EN INDUSTRIA DE GOLOSINAS	8
2.6. PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PTARI.....	9
2.6.1. Capacidad de efecto COANDA.....	9
2.6.2. Carga hidráulica.....	10
2.6.3. Presión en el tanque saturador	10
2.6.4. Ratio de carga de sólidos	10
2.6.5. Relación alimento/microorganismo (F/M)	10
2.6.6. Tiempo de retención hidráulico (θ)	11
2.6.7. Concentración MLSS	11
2.6.8. Eficiencia de remoción de DBO ₅	11
2.6.9. Producción de lodo en exceso por DBO ₅ removido	12
2.6.10. Requerimiento de nitrógeno	12

2.6.11.	Requerimiento de fósforo	12
2.6.12.	Carga volumétrica en el reactor MBBR	12
2.6.13.	Carga superficial.....	13
2.6.14.	pH	13
2.7.	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	13
2.7.1.	Pre-tratamiento	13
2.7.2.	Tratamiento primario.....	14
2.7.3.	Tratamiento secundario	17
2.8.	COSTO DE OPERACIÓN DE UNA PTARI.....	20
2.8.1.	Personal	20
2.8.2.	Mantenimiento.....	20
2.8.3.	Energía.....	20
2.8.4.	Químicos y materiales	21
2.8.5.	Disposición	21
2.8.6.	Misceláneo.....	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS	22
3.2.	MUESTREO DE EFLUENTE RESIDUAL	22
3.3.	PARÁMETROS DE DISEÑO	23
3.4.	DESCRIPCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO.....	24
3.5.	DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO	24
3.6.	CALIDAD DE AGUA TRATADA	24
3.7.	VOLUMEN DE LODOS PARA DISPOSICIÓN FINAL	25
3.8.	COSTO DE OPERACIÓN.....	25
IV.	DESARROLLO DEL TEMA Y DISCUSIÓN	27
4.1.	UBICACIÓN.....	27
4.2.	MUESTREO DE EFLUENTE RESIDUAL	28
4.2.1.	Antes de ampliación	28
4.2.2.	Ampliación	31
4.3.	PARÁMETROS DE DISEÑO	34
4.3.1.	Antes de ampliación	34
4.3.2.	Ampliación	39
4.4.	DESCRIPCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO.....	42
4.5.	DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO	46

4.6.	CALIDAD DE AGUA TRATADA	49
4.7.	VOLUMEN DE LODOS PARA DISPOSICIÓN FINAL	53
4.7.1.	Antes de ampliación	53
4.7.2.	Ampliación	54
4.8.	COSTO DE OPERACIÓN.....	57
V.	CONCLUSIONES.....	62
VI.	RECOMENDACIONES.....	65
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
VIII.	ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índice de volumen físico de la elaboración de productos alimenticios, 2013-2015 (año base: 2012=100)	5
Tabla 2: Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2003-2012 (año base: 1994=100)	6
Tabla 3: Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2013-2015 (año base: 2012=100)	6
Tabla 4: Caracterización de flujo de residuos y data de operación actual, empresas Tom's Food Inc., y Keebler Company	8
Tabla 5: Características promedio de efluentes generados en la industria de elaboración de galleta	9
Tabla 6: Campaña de muestreo empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., antes de ampliación.....	28
Tabla 7: Campaña de muestreo compuesto empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., periodo de simulación de ampliación	32
Tabla 8: Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.	36
Tabla 9: Descripción de unidades de tratamiento antes y en la ampliación	43
Tabla 10: Etapas de tratamiento PTARI antes y en la ampliación	44
Tabla 11: Dimensiones principal equipamiento PTARI antes de ampliación.....	46
Tabla 12: Dimensiones principal equipamiento PTARI en ampliación	47
Tabla 13: Comparación de dimensiones de PTARI antes y en ampliación	47
Tabla 14: Calidad de agua cruda y tratada, PTARI antes de ampliación	50
Tabla 15: Calidad de agua cruda y tratada, PTARI en ampliación	51
Tabla 16: Producción de lodo PTARI antes de ampliación	54
Tabla 17: Producción de lodo PTARI en ampliación.....	55
Tabla 18: Lodo biológico en exceso para PTARI en ampliación manteniendo el sistema de lodos activados.....	56
Tabla 19: Costo de operación por m ³ de agua tratada por PTARI antes, en ampliación y simulación ampliación con lodos activados.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Adaptado de estructura simplificada de la cadena productiva cacao, chocolate y confituras (Rocha, 2013)	7
Figura 2: Ubicación de empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A. (Google maps)....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de laboratorio muestreo de efluente residual simulación de ampliación	72
Anexo 2: Costos de operación por categorías antes de ampliación	76
Anexo 3: Costos de operación por categorías en ampliación	79
Anexo 4: Plano de arreglo general PTARI antes de ampliación.....	82
Anexo 5: Plano de arreglo general PTARI en ampliación.....	83
Anexo 6: PTARI antes de ampliación.....	84
Anexo 7: PTARI en ampliación.....	85

RESUMEN

Debido al incremento de la demanda de la industria de alimentos y al reducido espacio que se le asignan a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), el Sistema Biológico de Lecho Móvil, MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) por sus siglas en inglés, resulta en una muy buena aplicación en ampliaciones de capacidad de tratamiento en PTARI existentes o como resultado de la generación de nuevos efluentes debido a nuevas líneas de producción. Los sistemas MBBR vienen siendo aplicados para la remoción de materia orgánica principalmente soluble, para lo cual se han desarrollado diferentes tipos de bioportadores, cuya diferencia reside básicamente en el material usado para su elaboración, remoción de determinados parámetros y, sobre todo de su área superficial. La presente evaluación muestra que con este sistema de tratamiento es posible mantener e incluso mejorar la calidad del agua residual industrial tratada. La aplicación del sistema biológico MBBR ha sido evaluado para el tratamiento de efluentes en una industria de alimentos (golosinas), el cual ha permitido un incremento de 252, 55, 292.5 y 14 por ciento en los parámetros DBO₅, DQO, SST y AyG, respectivamente, así como un incremento de caudal de 204.8 por ciento con respecto a la PTARI antes de la ampliación. La ampliación de la capacidad de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema MBBR requirió solo de un incremento de área del orden del 100 por ciento frente a unos 350 por ciento adicionales, requeridos ante una ampliación mediante el mismo sistema de tratamiento anterior de lodos activados.

Palabras claves: ampliación de PTARI, efluente de golosinas, lodos activados, MBBR, carriers.

ABSTRACT

Due to the increase in the demand of the food industry and the limited space allocated to the Industrial Wastewater Treatment Plants (IWWTP), the Mobile Bed Biological System, MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor), results in a very good application in extensions of treatment capacity in existing PTARI or because of the generation of new effluents due to new production lines. The MBBR systems are being applied for the removal of mainly soluble organic matter, for which different types of biocarriers have been developed, whose difference lies basically in the material used for their elaboration, removal of certain parameters and, above all, their surface area. The present evaluation shows that with this treatment system it is possible to maintain and even improve the quality of the industrial wastewater treated. The application of the biological system MBBR has been evaluated for the treatment of effluents in a food industry (sweets), which has allowed an increase of 252, 55, 292.5 and 14 percent in the parameters BOD5, COD, TSS and OG, respectively, as well as a flow increase of 204.8 percent with respect to the PTARI before the expansion. The expansion of wastewater treatment capacity through an MBBR system required only an area increase of the order of 100 percent compared to an additional 350 percent, required before an expansion through the same system of previous treatment of activated sludge.

Keywords: extension of PTARI, effluent of sweets, activated sludge, MBBR, carriers.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria de alimentos, en especial la de golosinas y chocolates en el Perú, ha sufrido incrementos en su volumen físico de producción debido al aumento en la demanda de productos existentes y generación de otros nuevos. Se generan cambios para abastecer lo que el mercado requiere, cambios tanto en proceso productivo como en generación de aguas residuales industriales, esto último conlleva a la implementación de nuevas plantas de tratamiento, incremento de etapas de tratamiento, reemplazo de sistemas de tratamiento existentes, entre otros; a fin de mantener la calidad de agua tratada requerida según normativa ambiental aplicable.

Debido a que, en su mayoría, las empresas del rubro de alimentos están ubicadas en zonas urbanas con alta densidad poblacional, y que el crecimiento de este rubro requiere aumento de espacio para instalación de nuevo equipamiento y líneas de producción, por lo tanto el espacio libre de las industrias se ve reducido considerablemente, no teniéndose suficiente espacio para la construcción de nuevas unidades de tratamiento requeridas para el tratamiento de las aguas residuales industriales.

En 1988 un nuevo diseño de sistema de tratamiento tuvo lugar en Noruega, una compañía en el mencionado país e investigadores de la organización SINTEF desarrollaron el reactor biológico de lecho móvil, con sus siglas en inglés MBBR, el cual es reconocido por maximizar la capacidad y eficiencia en actualizaciones de sistemas de tratamiento existentes, generando una huella mínima. Así como también, el requerimiento de una menor área en comparación con lo requerido por un sistema convencional de tratamiento biológico.

En el proceso MBBR, un polímero poroso suspendido es usado como carrier o también llamado portador, los cuales se mueven continuamente en el tanque de aireación y, la masa activa crece como biopelícula en la superficie del bioportador. Estos componentes

plásticos presentan una alta superficie por unidad de volumen, en el mercado de tecnologías de tratamiento de efluentes podemos encontrar desde 350 m²/m³ hasta sobre los 3 000 m²/m³. La selección de estos bioportadores depende de diferentes factores tales como: tasa de llenado, caudal mínimo de aire por unidad de área, precio, entre otros.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar si el sistema biológico MBBR implementado en la ampliación de capacidad de tratamiento de PTARI existente, para aguas residuales industriales, de la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., consigue mantener la calidad de agua tratada y cumple con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado sanitario según D.S. 001-2015-VIVIENDA.

1.1.2. Objetivos secundarios

- Evaluar y comparar la calidad del efluente residual industrial antes y en la ampliación, en función de los parámetros: pH, T, DBO₅, DQO, SST y AyG.
- Evaluar y comparar los parámetros de diseño de la PTARI antes y en la ampliación, en función de diversas fuentes bibliográficas.
- Comparar unidades de tratamiento de la PTARI antes y en la ampliación, en términos de capacidad, marca y área; requeridas para alcanzar la calidad de agua tratada según VMA.
- Evaluar y comparar la calidad del efluente industrial tratado antes y en la ampliación, en función de los parámetros: pH, T, DBO₅, DQO, SST y AyG.
- Comparar el volumen de lodo generado por la PTARI antes y en la ampliación, en términos de generación de kg/día de lodo deshidratado.
- Evaluar y comparar el costo operativo de la PTARI antes y en la ampliación, en función a los conceptos: personal, mantenimiento, energía, químicos, disposición de lodos y misceláneo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MARCO LEGAL AMBIENTAL

2.1.1. Decreto supremo n°001-2015-vivienda

Modifica diversos artículos del D.S. N° 021-2009 VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario, así como de su reglamento aprobado mediante D.S. N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el D.S. N° 010-2012 VIVIENDA.

Esta norma actualiza concentración permitida de sulfatos (1 000 mg/L). Además, indica entre otras modificaciones, que la fiscalización del cumplimiento de calidad de agua de descarga al alcantarillado sanitario se realizará mediante muestreos puntuales inopinados.

2.1.2. Decreto supremo n°021-2009-vivienda

Aprueba Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Presenta el anexo 1 correspondiente a parámetros que pueden ser excedidos en concentración, pero que implican un pago por dicho exceso. Asimismo, presenta el anexo 2 correspondiente a parámetros que no pueden ser excedidos o que de lo contrario se prohíbe la descarga de efluente al alcantarillado sanitario.

2.1.3. Decreto supremo n°010-2012-vivienda

Modifica el D.S. 003-2011-VIVIENDA que aprobó el reglamento del D.S. N° 021- 2009-VIVIENDA con la finalidad de establecer procedimientos para controlar descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

2.1.4. Decreto supremo n° 003-2011-vivienda

Reglamento del D.S. N°021-2009-VIVIENDA, aprueba los Valores Máximos Admisibles de descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.

2.1.5. Resolución de consejo directivo n°044-2012-sunass-cd

Aprueba directiva sobre VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y modifica el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento.

2.1.6. Resolución de consejo directivo n° 025-2011-sunass-cd

Aprueba metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el anexo 1 del D.S. N°021-2009-VIVIENDA y modifica el Reglamento General de Tarifas, así como también el Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento.

2.1.7. Resolución ministerial n°116-2012-vivienda

Aprueba los parámetros para las actividades que según la CIU serán de cumplimiento obligatorio por parte de los usuarios no domésticos, en aplicación del D.S. N°021-2009-VIVIENDA y su reglamento aprobado con D.S. N° 003-2011-VIVIENDA”.

2.2. INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Según el INEI (2010) la elaboración de productos alimentación está comprendida por la elaboración de productos de la agricultura, ganadería, silvicultura y la pesca, a fin de convertirlos en alimentos y bebidas para consumo humano o animal, así mismo incluye la producción de varios productos intermedios que no son directamente productos

alimenticios.

El INEI (2010) hace también mención que la división de la industria de alimentos se organiza por actividades, las cuales se realizan con distintos tipos de productos: carne, pescado, fruta, legumbres y hortalizas, grasas y aceites, productos lácteos, productos de molinería, alimentos preparados para animales y otros productos alimenticios y bebidas. La división de «productos alimenticios» incluye la elaboración de otros productos alimenticios, y estos a su vez comprenden la elaboración de productos de: panadería, azúcar, cacao, chocolate y confitería, macarrones, entre otros.

El grupo de elaboración de productos alimenticios en el Perú en el 2015 representó el 32 por ciento del Producto Bruto Interno (PBI) del sector industrial, por lo que es rubro muy representativo en el país (Diario Gestión, 2015).

Según el Ministerio de la Producción (2013, 2014 y 2015), el grupo de elaboración de productos alimenticios para los años del 2013 al 2015 ha venido experimentando en general un constante incremento en el índice de volumen físico, lo cual se puede apreciar en tabla 1 Índice de volumen físico de la elaboración de productos alimenticios, 2013-2015.

Tabla 1: Índice de volumen físico de la elaboración de productos alimenticios, 2013-2015 (año base: 2012=100)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
2013	93	72	72	82	133	154	101	85	92	106	156	140	107
2014	92	79	86	102	126	117	104	86	87	92	86	94	95
2015	79	73	84	148	134	113	94	84	87	89	98	111	99

FUENTE: Adaptado del Ministerio de la Producción (2013, 2014 y 2015).

2.3. INDUSTRIA DE GOLOSINAS

Rocha (2013) sostiene que la producción de confituras a nivel mundial está concentrada en empresas de origen americano y europeo, como consecuencia de altas inversiones que estas empresas realizan en el desarrollo, publicidad y lanzamiento de nuevos productos.

Según el INEI (2010) este sector comprende las actividades de elaboración de: cacao y manteca, grasa y aceite de cacao, chocolate y productos de chocolate, productos de confitería (caramelos, pastillas de cachú, turrón, confites blandos y chocolate blanco), goma de mascar, conservación en azúcar de frutas, nueces, cáscaras de frutas y otras partes de plantas, grageas y pastillas de confitería. A este sector le corresponde la clase 1073 «Elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería», según la Clasificación Industrial Internacional Informe (CIIU). Este sector está articulado con el desarrollo de la actividad agrícola y la azucarera, ya que estas proveen el grano de cacao y azúcar (elementos básicos en la producción de caramelos y chocolatería), también está relacionado con la industria química (proveedora de colorantes), entre otros (Ministerio de la Producción, s.f.).

De acuerdo al Ministerio de la Producción (2013, 2014 y 2015), el sector de elaboración de golosinas ha venido experimentando en general un constante incremento según puede verificarse con el aumento del índice de volumen físico en los años en mención, según tabla 2 Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2013-2012 y, la tabla 3 Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2013-2015, respectivamente.

Tabla 2: Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2003-2012 (año base: 1994=100)

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
99	108	117	139	168	177	171	200	203	162

FUENTE: Adaptado del Ministerio de la Producción (2012).

Tabla 3: Índice de volumen físico industrial para elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, 2013-2015 (año base: 2012=100)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
2013	7	-3	-30	10	28	30	3	28	14	-33	22	32	4
2014	77	79	96	99	104	123	116	111	125	117	102	76	102
2015	57	83	90	92	113	115	122	120	122	102	96	63	98

FUENTE: Adaptado del Ministerio de la Producción (2013-2015).

2.4. PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE GOLOSINAS

Para este sector, Rocha (2013) sostiene que en la cadena se identifican dos procesos productivos donde se elaboran diferentes productos finales: la elaboración de confituras que no integra el insumo chocolate en el proceso de producción (tales como, bombonería, galletitas, etc.) y el proceso que se inicia con la producción del cacao, continuando con los productos intermedios y finalizando con las preparaciones de chocolate con azúcar, tal como se puede observar en el figura 1 Estructura simplificada de la cadena productiva cacao, chocolate y confituras.

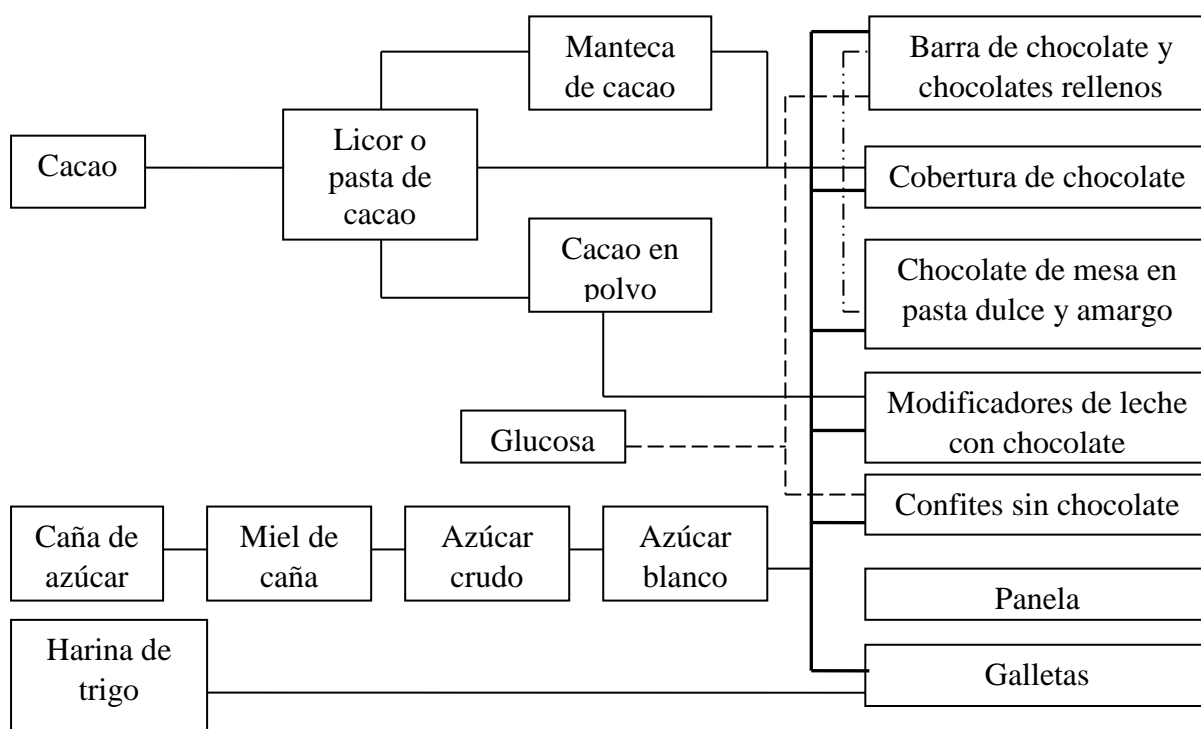


Figura 1: Adaptado de estructura simplificada de la cadena productiva cacao, chocolate y confituras (Rocha, 2013)

El reporte del Ministerio de Producción (s.f.) indica que en lo que respecta a chocolates existen cinco tipos de productos: los denominados chocolates duros o compactados (en algunos casos contienen maní, avellanas o pasas), los bañados (galletas, wafers y barras dulces con cobertura de chocolate), los chocolates rellenos, los chocolates de taza y finalmente los bombones; mientras que los caramelos se dividen en: duros, blandos, rellenos, chupetes, gomitas y tofi.

Para la elaboración de golosinas, las principales materias primas utilizadas son la glucosa y el azúcar, los cuales se combinan en una proporción variable entre 30 por ciento de glucosa y 70 por ciento de azúcar o 60 por ciento de glucosa y 40 por ciento de azúcar (Rocha, 2013).

2.5. CARACTERÍSTICAS DE AGUA RESIDUAL EN INDUSTRIA DE GOLOSINAS

La caracterización de las aguas residuales constituye un prerrequisito indispensable para la determinación de su carácter contaminante y con tal fin realizar el planteamiento de gestión y su tratamiento. Tal como lo indica Romero (2004), si bien existen características típicas de aguas residuales, las cuales son importantes, cada agua residual es única en sus características debido a que la cantidad y concentración de estas es función de su origen y sus componentes.

Givens y Cable (1988) presentaron un caso de estudio de dos compañías en Atlanta (Georgia), *Tom's Food Inc.* (elaboración de caramelos) y *Keebler Company* (elaboración de galletas), dichos autores presentaron la calidad de agua residual industrial tanto de diseño como de operación actual de ambas compañías, los resultados se muestran en la tabla 4 Caracterización de flujo de residuos y data de operación actual, empresas *Tom's Food Inc.*, y *Keebler Company*.

Tabla 4: Caracterización de flujo de residuos y data de operación actual, empresas *Tom's Food Inc.*, y *Keebler Company*

Parámetro	Unidad	Compañía			
		Tom's Foods, Inc.		Keebler Company	
		Bases de diseño	Operación actual	Bases de diseño	Operación actual
pH	-	-	6.2	5.6	6.0
DQO _T	mg/l	2 700	4 560	1 620	830
DQO _S	mg/l	1 800	1 690	-	290
DBO _T	mg/l	1 600	2 380	891	500
DBO _S	mg/l	1 200	970	-	175
SST	mg/l	600	2 950	756	-
AyG	mg/l	170	66	285	-
NTK	mg/l	5	13	-	2
PO ₄ -P	mg/l	1	5.5	-	3

(T: total; S: soluble)

FUENTE: Adaptado de Givens y Cable (1988).

Guerrero y Alkalay (1996), realizaron un estudio en una fábrica de galletas y planta de manjar, los resultados se presentan en la tabla 5 Características promedio de efluentes generados en la industria de elaboración de galleta.

Tabla 5: Características promedio de efluentes generados en la industria de elaboración de galleta

Parámetro	Unidad	Mezcla (M+G) (manjar + galleta)	Mezcla MOL (otros lavados de la planta de manjar)
DQO	mg/l	28 000	1 800
SST	mg/l	6 500	900
AyG	mg/l	1 400	-
pH	-	-	13

FUENTE: Adaptado de Guerrero y Alkalay (1996).

Nijhuis Water Technology (2017) presentó un caso de estudio de una Planta de tratamiento para producción de confitería en Dubái, la cual maneja concentraciones de DQO entre 10 000 mg/L a 60 000 mg/L, con un promedio de 37 000 mg/l.

2.6. PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PTARI

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) define a las bases de diseño de una planta de tratamiento, como el Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: población, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales.

A continuación, se mencionan algunos de los parámetros de diseños más importantes:

2.6.1. Capacidad de efecto COANDA

Wahl (2003) define el efecto coanda como el fenómeno físico por el cual una corriente de fluido tiende a ser atraído por una superficie vecina a su trayectoria. Este parámetro es empleado para el diseño de rejillas curvas, depende de variables como la altura de columna de agua que inicia en la filtración, el ángulo de inclinación, la curvatura y largo de la

masa, es expresado $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$.

2.6.2. Carga hidráulica

Ross, Smith y Valentine (2000) definen al ratio de carga hidráulica como el cociente de dividir el caudal de ingreso, sin considerar el caudal de recirculación, entre el área superficial del espejo de agua. Este parámetro es típicamente el primero en considerarse en el dimensionamiento de las unidades de flotación para la mayoría de aplicaciones industriales, es expresado en $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$.

2.6.3. Presión en el tanque saturador

Hendricks (2011) define este parámetro como la presión manométrica en el saturador de aire disuelto, desde el cual se inyecta al DAF mediante la línea de recirculación, el saturador es presurizado en un intervalo de 4 a 7 atm.

2.6.4. Ratio de carga de sólidos

Ross et al. (2000) define este parámetro como el cociente obtenido de dividir el flujo de sólidos y aceites y grasas que están disponibles, por unidad de área de la unidad de flotación (DAF), se expresa en $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$.

2.6.5. Relación alimento/microorganismo (F/M)

Sperling (2007) define al parámetro F/M como la carga de alimento o sustrato (DBO_5) suministrado por día por cada unidad de biomasa en el reactor biológico (SSLM), es expresado en $\text{kg DBO}/\text{kg SSLM}\cdot\text{d}$. Además, el autor menciona que los microorganismos tienen una limitada capacidad de consumo de sustrato por unidad de tiempo, por lo que una alta relación de F/M puede significar una mayor oferta de materia orgánica biodegradable de la que puede consumir la biomasa, resultando un excedente de sustrato en el efluente final. Por el contrario, un F/M bajo significa que la oferta de sustrato es

más baja que la capacidad de los microorganismos en usarla, en consecuencia, ellos consumirán prácticamente toda la materia orgánica del efluente, así como también su propio material orgánico celular.

2.6.6. Tiempo de retención hidráulico (θ)

Wisconsin Department of Natural Resources (2010) define al tiempo de retención hidráulico como el periodo que el agua residual permanece en el reactor biológico, además indica la importancia de este parámetro debido a que el proceso de lodos activados requiere suficiente tiempo para que el agua residual sea tratada.

Sperling (2007) define a este parámetro como el cociente de dividir el volumen del líquido contenido en el reactor entre el caudal diario.

Este parámetro es expresado normalmente en días.

2.6.7. Concentración MLSS

Sperling (2007) define a este parámetro como la concentración de los sólidos totales en el licor de mezcla, entendiéndose por este último como la mezcla de agua residual cruda y el lodo activado contenido en el reactor biológico. El mayor porcentaje de estos sólidos son microorganismos producidos en el reactor biológico debido al uso del sustrato (DBO_5), este parámetro es expresado en mg/L.

2.6.8. Eficiencia de remoción de DBO_5

Definido como el porcentaje de remoción de la DBO_5 del sistema biológico, obtenido de la diferencia entre DBO_5 influente y del efluente, entre la DBO_5 influente, y multiplicarlo por 100 por ciento.

2.6.9. Producción de lodo en exceso por DBO₅ removido

Sperling (2007) define a este parámetro como los kilogramos de sólidos suspendidos producidos por unidad de DBO₅ removido en el reactor biológico, a su vez el autor menciona que la producción de lodo es una función dependiente de la presencia de: sólidos en el influente, existencia de tratamiento primario, edad de lodo y otros coeficientes cinéticos. Este parámetro es expresado en kg SS/kg DBO₅ removido en el reactor biológico.

2.6.10. Requerimiento de nitrógeno

Eckenfelder (1989) citado por Sperling (2007) indica que los microorganismos responsables de la oxidación de la materia orgánica requieren otros nutrientes además del carbón, con la finalidad del desarrollo de sus actividades metabólicas, también indica que la cantidad de nitrógeno requerido es equivalente al nitrógeno removido del sistema a través del exceso de lodo. Este parámetro es expresado en kg N/100 kg DBO₅ del influente al sistema biológico.

2.6.11. Requerimiento de fósforo

Eckenfelder (1989) citado por Sperling (2007) indica que el fósforo, de igual manera que el nitrógeno, es uno de los principales nutrientes requeridos para la actividad metabólica de los microorganismos y, que la cantidad de fósforo requerido es equivalente al fósforo removido del sistema a través del exceso de lodo. El requerimiento de fósforo se expresa en kg P/100 kg DBO₅ del influente al sistema biológico.

2.6.12. Carga volumétrica en el reactor MBBR

Parámetro definido por el cociente de los kg de DQO/día que ingresa al tratamiento por unidad de volumen del reactor; es expresado en kg DQO/m³.d.

Según Ødegaard (2000) el volumen del reactor usado para el cálculo de este parámetro, debe manejarse bajo un porcentaje estándar de llenado de portadores, el cual asciende a 67 por ciento del volumen útil del reactor MBBR.

2.6.13. Carga superficial

Bengtson (2010) indica que la carga superficial es el parámetro principal de diseño empírico para determinar el volumen del reactor MBBR.

Este parámetro se obtiene de dividir los gramos de DQO removidos por día por el reactor biológico entre los metros cuadrados (m^2) de área superficial que representan los portadores en el reactor biológico. Es expresado en $g\ DQO/m^2$.

2.6.14. pH

Rassu (1984) menciona que la oxidación bioquímica del sustrato depende de las enzimas de los microorganismos y que la velocidad de reacción catalizada por estas enzimas depende de un determinado rango de pH, además indica que el pH óptimo para el crecimiento de microorganismos se encuentre en el intervalo de 6.5 a 7.5, y que muchos organismos no toleran valores por encima de 9.5 ni valores por debajo de 4.0.

2.7. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

2.7.1. Pre-tratamiento

Según WEF (1998) «*el tratamiento preliminar prepara el influjo de aguas residuales para un tratamiento adicional reduciendo o eliminando características problemáticas de aguas residuales, que de otra manera podrían impedir el funcionamiento o incrementar indebidamente el mantenimiento de los procesos y equipos aguas abajo*». Dicho autor menciona al cribado, desarenador y ecualizador (de flujo) como tipos de procesos unitarios que constituyen el pre-tratamiento. Asimismo, el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento (2006) indica que el tratamiento preliminar o pre-tratamiento está conformado por las unidades de: cribado, desarenador y repartidor de caudal. A continuación, se indican los tipos de pre-tratamiento:

- **Cribado**

Según Hendricks (2011) el cribado es la retención de partículas ya sea por una cuadrícula o barras longitudinales con aberturas de menor diámetro que las partículas a remover. Las cribas tienen una amplia variedad de formas y rangos de microcribas hasta bastidores de retención de basura. Las cribas de barra de cuña están hechas con delgadas barras en forma de «V» con longitud perpendicular al flujo.

- **Ecualización**

El ecualizador o también llamado tanque de homogenización, es una unidad que se utiliza para homogenizar los caudales y cargas contaminantes del agua residual cruda, los cuales suelen variar horariamente.

Según Metcalf & Eddy (1995) la homogenización consiste, simplemente, en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Sus principales ventajas son:

- Mejora el tratamiento biológico, debido a que elimina o reduce las cargas de choque, diluye las sustancias inhibitoras y, consigue estabilizar el pH.
- Debido a que permite trabajar con cargas de sólidos constantes, mejora la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria.
- Mejora la dosificación de los químicos debido al amortiguamiento de las cargas aplicadas.

2.7.2. Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga contaminante a remover por el tratamiento

biológico (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

El tratamiento primario es la «línea de defensa» en el tratamiento de agua residual y reduce la carga de sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en los procesos de tratamiento aguas abajo. La reducción de cargas logra minimizar los problemas operaciones aguas debajo de los procesos de tratamiento biológico, asimismo reduce la demanda de oxígeno y también decrece el ratio de consumo de energía por oxidación del material particulado. Todos estos efectos mencionados, permiten la mejora de la remoción del sustrato soluble durante la aireación y, reduce la generación del volumen de lodo activado excedente (WEF, 1998).

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) indica como tratamiento primario al tanque Imhoff, tanque de sedimentación y el tanque de flotación. A continuación, se indican los principales tratamientos primarios existentes:

- **Tanque Imhoff**

Según Metcalf & Eddy (1995) los tanques Imhoff son unidades de separación, en el cual ocurre la degradación de los sólidos sedimentables mediante digestión anaerobia. El tanque está conformado por dos niveles, la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, mientras que la digestión de los sólidos sedimentados se da en la parte inferior; la acumulación de espumas tiene lugar en el compartimiento de sedimentación y, los gases producidos de la digestión anaerobia escapan desde el fondo mediante un sistema de venteo.

La propia configuración de la abertura que comunica ambas caras en la parte inferior de la cámara de sedimentación, impide el paso a la misma de los gases generados en la digestión y de las partículas de fango que asciende por boyancia (desde la capa de fango depositada en el fondo debido a la presencia de gases).

- **Sedimentación**

La sedimentación consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua, es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Los términos de sedimentación y decantación se utilizan indistintamente (Metcalf & Eddy, 1995).

En el tratamiento primario, la sedimentación se da en unidades como los desarenadores y en los decantadores o sedimentadores primarios.

Los desarenadores son cámaras diseñadas para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción por sedimentación de sólidos minerales (arenas y otros).

Los sedimentadores primarios son tanques diseñados para remover sólidos floculentos, presentes en aguas residuales cruda con alta concentración inicial de sólidos suspendidos totales. Su diseño y operación debe permitir el retiro de los sólidos sedimentados de manera oportuna, a fin de que la materia orgánica particulada no se solubilice.

- **Flotación**

Otro tipo de separación es la flotación, este tipo de tratamiento logra remover las partículas mediante la adherencia de estas a las burbujas de aire. Las partículas adheridas con las burbujas de aire terminan por presentar un efecto flotante, ocasionando que se eleve la partícula a la superficie donde son removidas por unas paletas barredoras. La flotación casi siempre usa aire disuelto como fuente de burbujas, y es conocida como «Flotación por Aire Disuelto» (DAF por sus siglas en inglés). Hendricks (2011) menciona que como condición para que el DAF pueda remover los sólidos, es necesario contar previamente con mezcla rápida, coagulación química y floculación para crear un floc, el cual es susceptible a flotación.

Entre los ejemplos de tipo de partículas que pueden ser flotadas encontramos: precipitados químicos, flóculos coagulados con aluminio o hierro, quizás fortalecido con un polímero y, flóculos biológicos.

2.7.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario del agua residual se realiza con el objeto de eliminar la materia orgánica medida como DBO₅, consiste básicamente en la acción de microorganismos, a los que se añade oxígeno, que degradan el material orgánico en solución o en suspensión hasta que la DBO₅ del efluente residual se reduzca a niveles requeridos.

A continuación, se indican los principales tipos de sistemas de tratamiento secundario:

- **Lodos activados**

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como en domésticas desde ya aproximadamente un siglo. Para ambos casos, agua residual urbana e industrial se someten a aireación durante un periodo de tiempo, con la finalidad de remover su contenido de materia orgánica, y en consecuencia se obtiene la formación de un lodo floculento, un análisis al microscopio a este lodo indica que está formado por una población heterogénea de microorganismos, los cuales cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales (Ramalho, 1996).

Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados, el agua ingresa en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión, al contenido del reactor se le conoce como «líquido mezcla». En el reactor, el cultivo bacteriano lleva acabo la remoción de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Reactores biológicos de medio móvil**

En este tipo de reactores la biomasa crece sobre el lecho móvil o también llamado «portadores o *carrier*», los cuales se mueven libremente en el volumen de agua del reactor, y son mantenidos dentro del reactor mediante un tamiz o malla instalada a la salida del reactor. Este tipo de sistema de tratamiento biológico tiene aplicación tanto en procesos aerobios, anóxicos y anaerobios.

Contrariamente a la mayoría de los reactores de lecho fijo, pero al igual que el reactor de lodos activados utiliza todo el volumen del tanque para el crecimiento de la biomasa. Sin embargo, a diferencia del sistema de lodos activados no necesita ningún reciclado de lodos y en consecuencia, solo se separa la biomasa excedente, una ventaja considerable sobre el proceso de lodos activados (Ødegaard, 1999).

Según Ødegaard (1999) el movimiento de los portadores en un MBBR aerobio se inicia a partir de la agitación introducida por medio de aireación (parrilla de difusores y soplador de aire) para distribuir uniformemente los portadores plásticos y proporcionar oxígeno requerido para el proceso de oxidación biológica. Este movimiento a su vez juega un rol importante en la colisión y roce de los portadores para el desprendimiento de la biopelícula formada en la superficie del lecho móvil. Por lo tanto, los portadores se proporcionan con «aletas» en la parte externa a fin de proteger la pérdida excesiva de biofilm y promover el crecimiento de este. Una adecuada turbulencia remueve el exceso de biomasa y mantiene suficiente espesor de biopelícula en el reactor.

Adabaju (2013) menciona que el reactor de lecho móvil presenta un área de huella de muy pequeña, con requerimiento entre un quinto a un tercio de lo que el área que demandaría el reactor de un lodo activado convencional. El porcentaje de llenado está limitado en un 70 por ciento del volumen útil del reactor, siendo 67 por ciento lo típico; sin embargo, la característica del agua residual y los objetivos del tratamiento son los factores principales que determinan el porcentaje de medio requerido en el reactor.

El tipo de burbuja utilizada en este tipo de tratamiento, es burbuja gruesa, esta tiene beneficio de ser más resistente al ensuciamiento y precipitación de sales en el lecho móvil, además la burbuja gruesa en el momento de ingresar al portador se divide en pequeñas burbujas mediante el movimiento entre el espacio intermedio entre los portadores, este proceso causa el aumento del área interfacial entre el gas y el líquido, favoreciendo la transferencia de oxígeno.

Adabaju (2013) menciona que a la fecha de su investigación existen más de 500 plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala con proceso de MBBR en 50 países alrededor del mundo en el ámbito municipal e industrial. En la mayoría de estas plantas de tratamiento, el sistema biológico MBBR es elegido porque ofrece una solución compacta de tratamiento.

- **Reactores biológicos de lecho fijo**

Los procesos de tratamiento aerobios de cultivo fijo se emplean, normalmente, para eliminar la materia orgánica que se encuentra en el agua residual, además de emplearse para llevar a cabo el proceso de nitrificación (conversión del nitrógeno amoniacal en nitrato). Entre los tipos de estos reactores, podemos encontrar los filtros percoladores, filtros de pre-tratamiento o desbaste, reactores biológicos rotativos de contacto (biodiscos) y los reactores de nitrificación de lecho fijo (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Reactores secuenciales SBR**

Un reactor discontinuo secuencial (SBR) es un sistema de tratamiento de lodos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados ya que en ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia, debido a que en las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque (Metcalf & Eddy, 1995).

El proceso en el SBR está conformado por las siguientes fases: llenado, reacción (aireación), sedimentación (clarificación), extracción (vaciado por decantación) y, fase de inactiva.

2.8. COSTO DE OPERACIÓN DE UNA PTARI

Según Wendland (2005) el costo operacional juega un rol muy importante dentro de los costos totales de un sistema tratamiento de agua residual, está definido como los gastos relacionados con la operación, mantenimiento y monitoreo de la planta, una vez construida, está conformado por:

2.8.1. Personal

Esta categoría está directamente relacionada con el tamaño de la PTARI, la tecnología y el nivel de automatización seleccionado. Normalmente incluye los salarios, pensiones y seguros. Kemper, Yepes y Garn (1994) indican que en Grecia este costo asciende a 48 por ciento del costo total, en Francia el 24 por ciento, Bran Bretaña el 38 por ciento y, en México y Costa Rica el 68 por ciento.

2.8.2. Mantenimiento

Esta categoría incluye: reparaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas, reemplazos menores o mayores como piezas pequeñas o grandes para bombas, sopladores o motores, repuestos en stock y gastos de servicios externos. Suelen ser el 15 a 25 por ciento de los costos totales de operación (Wendland, 2005).

La finalidad de los programas de mantenimiento es mantener la funcionalidad de diseño en capacidad e integridad, así como restaurar los componentes del sistema a la condición original y así mantener su funcionalidad.

2.8.3. Energía

Esta categoría incluye: el consumo y la producción interna de electricidad, gas, petróleo para el funcionamiento de la PTARI, la energía usada para el transporte por estaciones de bombeo en caso de falta de gradientes hidráulicos suficientes.

La aireación se considera el principal consumidor de energía en el proceso de tratamiento de aguas residuales, normalmente corresponde al 10 - 30 por ciento del costo total de operación (Wendland, 2005).

2.8.4. Químicos y materiales

Según Wendland (2005) indica que esta categoría representa entre 5 a 7 por ciento del costo total de operación. Incluye el costo de los químicos normalmente empleados en la operación de una PTARI:

- Polímeros, aluminio y soda para condicionamiento de lodo.
- NaCl, Cl₂, O₃ para desinfección
- FeCl₂, FeCl₃, AlCl para precipitación de fósforo
- Metanol, etanol for desnitrificación
- Reactivos para laboratorio
- Aceite y gas para máquinas y vehículos
- Otros.

2.8.5. Disposición

Esta categoría incluye los costos de disposición de lodo, cribado, arena y otros desechos de las plantas de tratamiento de agua. Varían en un rango entre 15 a 50 por ciento del costo total de operación, está relacionado directamente con el tamaño de la planta de tratamiento, regulación normativa, condiciones de la zona y precios del mercado (Wendland, 2005).

2.8.6. Misceláneo

Correspondiente a todos los otros costos no mencionados en los puntos anteriores, tales como análisis de laboratorios externos según programa de monitoreo anual, servicios de consultoría, otros. Representan entre 5 a 15 por ciento del costo total de operación (Wendland, 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los materiales y equipos empleados durante la elaboración del presente trabajo monográfico.

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

- Laptop.
- Cámara fotográfica.
- Cuaderno de operación de las PTARI antes y en ampliación.
- Fichas técnicas de equipos de las PTARI antes y en ampliación.
- Informes de laboratorios de muestreos de PTARI antes y en ampliación.

3.2. MUESTREO DE EFLUENTE RESIDUAL

Durante todo el año 2012 la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., llevó a cabo una campaña de caracterización de su agua residual industrial. Los parámetros analizados fueron: pH, temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos (SS) y, Aceites y Grasas (AyG). Los monitoreos fueron desarrollados por el laboratorio Certificaciones del Perú S.A., laboratorio certificado por INDECOPI.

Una vez operada la PTARI por un periodo poco mayor a un año, la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., adquirió las maquinarias necesarias para una ampliación de capacidad de producción de hasta tres veces en términos de kg de producto terminado. Por tal motivo y a razón de la incorporación de nuevos productos y al desarrollo de nuevos programas de producción, contrató a una empresa especializada en realizar campañas de monitoreo de agua en abril del 2014. Se realizaron 4 monitoreos compuestos de 6 horas cada

uno, por un periodo de 5 días, los parámetros analizados fueron: Aceites y Grasas (AyG), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sulfatos (SO₄²⁻). Los monitoreos fueron desarrollados por el laboratorio Certificaciones del Perú S.A., laboratorio certificado por INDECOPI.

La metodología de muestreo fue desarrollada de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) -ISO 5667-10:2012 Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales. Norma publicado por el Instituto Nacional de Calidad. Esta norma contiene detalles sobre el muestreo de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, es decir, el diseño de programas y técnicas de muestreo para la recolección de muestras, cubre las aguas residuales en todas sus formas, es decir, las aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas sin tratar o tratadas.

Los métodos de análisis de los parámetros de calidad de agua se indican a continuación:

- Aceites y Grasas: EPA Methods 1684. Revision B 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 5210 D, 22nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closes Reflux colorimetric method.
- Sólidos Suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 2540 D, 22nd Ed. 2012. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 103-105°C.
- Sulfatos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 4500- SO₄²⁻ E, Sulfate. Turbidimetric Method.

3.3. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño de la PTARI para las dos etapas, antes y en ampliación, fueron dados por la empresa diseñadora, Nijhuis Water Technology (empresa Holandesa) y SPENA GROUP S.A.C. (empresa peruana).

En este subcapítulo, los parámetros de diseño dados por las empresas diseñadoras de la PTARI, fueron comparados con valores dados por diferentes autores reconocidos en el tratamiento de aguas residuales tales como: Wahl (2013), Ross et al (2000), Hendricks (2011), Sperling (2007), Wisconsin Department of Natural Resources (2010), Eckenfelder (1989), Odegaard (2000), Bengton (2010) y Rassa (1984).

3.4. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

Para el desarrollo del subcapítulo «Descripción de unidades de tratamiento», se utilizaron documentos proporcionados por las empresas diseñadoras de las PTARI (antes y en ampliación):

- Memoria descriptiva de PTARI antes de ampliación.
- Memoria descriptiva de PTARI en ampliación.
- Fichas técnicas de equipos de PTARI antes de ampliación.
- Fichas técnicas de equipos de PTARI en ampliación.

3.5. DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

Para el desarrollo del subcapítulo «Dimensionamiento de unidades de tratamiento», se utilizaron documentos proporcionados por las empresas diseñadoras de las PTARI (antes y en ampliación):

- Plano de arreglo general arquitectónico de PTARI antes de ampliación.
- Plano de arreglo general arquitectónico de PTARI en ampliación.

3.6. CALIDAD DE AGUA TRATADA

En el desarrollo del subcapítulo «Calidad de agua tratada», se utilizaron reportes de monitoreos de agua a la salida de las PTARI antes y en ampliación, realizados por el laboratorio Certificaciones del Perú S.A., laboratorio acreditado por INCEDOPI. Los métodos de análisis de los parámetros de calidad de agua se indican a continuación:

- Aceites y Grasas: EPA Methods 1684. Revision B 2010. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 5210 B, 22 nd Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
- Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 5210 D, 22 nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closes Reflux colorimetric method.
- Sólidos Suspendedos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 2540 D, 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 103-105°C.

3.7. VOLUMEN DE LODOS PARA DISPOSICIÓN FINAL

Para el desarrollo del subcapítulo «Volumen de lodos para disposición final», se utilizaron documentos proporcionados por las empresas diseñadoras de las PTARI (antes y en ampliación):

- Hoja de cálculo de volumen de lodos para PTARI antes de ampliación.
- Hoja de cálculo de volumen de lodos para PTARI en ampliación.
- Memoria descriptiva de PTARI antes de ampliación.
- Memoria descriptiva de PTARI en ampliación.
- Cuaderno de operación de PTARI antes de ampliación.
- Cuaderno de operación en PTARI en ampliación.

3.8. COSTO DE OPERACIÓN

Para el desarrollo del subcapítulo «Costo de operación», se utilizaron documentos proporcionados por las empresas diseñadoras de las PTARI (antes y en ampliación):

- Hoja de cálculo de costo de operación para PTARI antes de ampliación.
- Hoja de cálculo de costo de operación para PTARI en ampliación.
- Memoria descriptiva de PTARI antes de ampliación.
- Memoria descriptiva de PTARI en ampliación.
- Manual de operación y mantenimiento de PTARI antes de ampliación.

- Manual de operación y mantenimiento de PTARI en ampliación.
- Cuaderno de operación de PTARI antes de ampliación.
- Cuaderno de operación en PTARI en ampliación.

IV. DESARROLLO DEL TEMA Y DISCUSIÓN

Cabe indicar que el nombre de la empresa en estudio del rubro de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, no puede ser revelado por políticas de confidencialidad, por tal motivo de ahora en adelante se le denominará “Golosinas y Chocolates Perú S.A.”

En este ítem se presenta toda la información acerca de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI) antes y después de la ampliación, de propiedad de la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.

4.1. UBICACIÓN

La empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., se encuentra ubicada en el distrito de los Olivos, provincia y departamento de Lima. Asimismo, la PTARI en estudio está ubicada dentro de las instalaciones de la ya mencionada empresa.

Por políticas de confidencialidad de información de la empresa en estudio, no se indican las coordenadas exactas de ubicación de la misma.



Figura 2: Ubicación de empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A. (Google maps)

4.2. MUESTREO DE EFLUENTE RESIDUAL

Metcalf & Eddy (1995) sostiene que los estudios de caracterización del agua residual determinan las características físicas, químicas, biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual. Asimismo, las técnicas de muestreo utilizadas deben asegurar la obtención de muestras representativas, ya que los datos de dichas muestras serían la base para el proyecto de las instalaciones de tratamiento.

Para ambos casos, antes y en ampliación, el punto de muestreo fue el buzón donde convergen las tres líneas de producción con las que cuenta la empresa en estudio (caramelos, galletas y chocolates). La toma de muestras y realización de análisis de parámetros, fueron llevados a cabo por laboratorios acreditados por INDECOPI; la metodología de toma de muestras para la etapa antes de la ampliación estuvo a cargo de la empresa en estudio, mientras que la metodología de toma de muestra para la etapa de ampliación estuvo a cargo de la empresa diseñadora de la PTARI. Para ambos casos en estudio, los monitoreos fueron de carácter compuesto.

4.2.1. Antes de ampliación

Durante todo el año 2012 la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., llevó a cabo una campaña de caracterización de su agua residual industrial. Los parámetros analizados fueron: pH, temperatura (T), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos (SS) y, Aceites y Grasas (AyG). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6 Campaña de muestreo empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., antes de ampliación.

Tabla 6: Campaña de muestreo empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., antes de ampliación

Fecha de Monitoreo	pH	T (°C)	DBO₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SS (ml/l.h)	AyG (mg/l)
28/03/2012	N.A.	N.A.	1 020	N.A.	860	N.A.	71
16/04/2012	4	34	N.A.	7 459	1 578	7	180

Continuación...

16/04/2012	4.01	35	N.A.	7 343	837.4	3	144.9
30/04/2012	4.6	34	2 400	7 250	465	0,6	31.3
15/05/2012	7.12	32.7	1 800	N.A.	374	2	56.2
18/05/2012	N.A.	N.A.	1 669	N.A.	680	N.A.	46.7
17/09/2012	6.17	30	3 150	N.A.	252.6	0.4	46.7
28/09/2012	7.13	33	N.A.	7 343	500.4	< 0.1	26.9
15/10/2012	8.86	29	2 570	7 416	336.4	< 0.1	43.8
21/10/2012	N.A.	N.A.	2 710	6 516	490	N.A.	18.2
25/10/2012	6.38	32	990	N.A.	405.5	< 0.1	42.3
08/11/2012	7.58	33.4	N.A.	6 987	1145	11	81.7
23/11/2012	7.5	32.5	N.A.	7 288	539.8	2.3	39.1

N.A.: parámetro no analizado

FUENTE: Golosinas y Chocolates Perú S.A.

Los valores de pH obtenidos varían en un rango de 4 a 8.86, la mayoría de los valores indican pH superiores a 7, esto debido a las limpiezas de equipos y líneas que se realizan con soda cáustica; mientras que los valores de pH alrededor de 4, provienen de limpieza de tinajas dentro de planta de producción las cuales son lavadas con ácido cítrico.

Para el parámetro temperatura se registraron valores entre 29°C a 35°C, con un promedio de 32.5°C, los valores altos se deben al agua caliente (> 60°C) que se emplea para disolver el chocolate solidificado en las bandejas, lo que resulta en el incremento de la temperatura en el agua que se descarga por los lavaderos, principalmente en el cambio de turno donde se realizan la mayor parte de lavado de bandejas.

La DBO₅ presentó valores en el rango de 1 020 a 3 150 mg/L, con un valor promedio de 2039 mg/L, estos valores resultan similares a los reportados por Givens y Cable (1988) para los efluentes de la fábrica de caramelos Tom's Food Inc. Este parámetro está directamente relacionado con los restos de azúcares como consecuencia de la elaboración de diferentes productos golosinarios.

Los valores de DQO reportados varían entre 6 516 y 7 459 mg/L, con un valor promedio de 7 200 mg/L, estos resultan mayores al rango de 830 - 4560 mg/L reportado por Givens y Cable (1988), sin embargo son menores a los 28 000 mg/L indicados por Guerrero y Alkalay (1996) para el efluente mezcla (M+G) y, al rango de 10 000 – 30 000 mg/L dados por Nijhuis Water Technology (2007). Al igual que la DBO₅, este parámetro está

directamente relacionado con los altos niveles de azúcar empleados en la elaboración de distintos productos golosinarios (restos de sacarosa y glucosa), así como constantes derrames de materia prima y productos intermedios, pérdida de lotes de producción debido a diferentes motivos, que finalmente terminan en el agua residual.

En lo que respecta a los SST los valores obtenidos por la empresa en estudio se encuentran en un rango de 374 – 1 578 mg/L, con un valor promedio de 651 mg/L, estos valores se encuentran dentro del rango 600 - 2950 mg/L dado por Givens y Cable (1988) y, el rango de 900 – 6 500 mg/L reportado por Guerrero y Alkalay (1996). En general este parámetro presenta alta variabilidad relacionada directamente a los lavados de las batidoras de wafer, bandejas de moldes para elaboración de gomitas y, a la producción misma de wafer; todo ello en consecuencia del empleo de altas cantidades de harina que finalmente termina en el agua residual.

Los AyG resultantes en la campaña de monitoreo durante el 2012 se encuentran en el rango de 18.2 - 180 mg/L, con un valor promedio de 64 mg/L; este último es muy cercano al valor de 66 mg/L reportado por Givens y Cable (1988) para la operación actual de la PTARI Tom's Food. Sin embargo, el rango obtenido se encuentra muy por debajo de los 1400 mg/L reportado por Guerrero y Alkalay (1996). Las variaciones en este parámetro están relacionadas directamente al proceso productivo y al tipo de producto elaborado, los cuales llevan en su composición diferentes porcentajes de aceite de palma, chocolate, manteca.

En general la variabilidad de las concentraciones de los parámetros mencionados líneas arriba, están relacionados directamente con los diferentes efluentes que se generan producto de la elaboración de una variada gama de productos golosinarios, los cuales dependen de la demanda del mercado, estacionalidad de producción, equipamiento para su fabricación. Asimismo, depende también de los diferentes lavados realizadas en las líneas de producción.

En general, todos los parámetros de calidad de agua monitoreados, exceden a los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado público, siendo necesario la

implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para alcanzar los niveles de calidad de agua tratada requeridos por la legislación ambiental aplicable.

4.2.2. Ampliación

Una vez operada la PTARI por un periodo poco mayor a un año, la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., adquirió las maquinarias necesarias para una ampliación de capacidad de producción de hasta tres veces en términos de kg de producto terminado. Por tal motivo y a razón de la incorporación de nuevos productos y al desarrollo de nuevos programas de producción, contrató a una empresa especializada en realizar campañas de monitoreo de agua.

Tal como lo indica Metcalf & Eddy (1995), «... debido a que no existen procedimientos universales de muestreo de aguas residuales industriales, las campañas de muestreo deben ser diseñadas específicamente para cada situación, determinar tipo y frecuencia de muestreo a tomar...», por lo tanto la empresa especializada desarrolló un estudio dentro de planta de producción a fin de conocer qué nuevos productos se iban a manufacturar en la ampliación, para lo cual Golosinas y Chocolates Perú S.A. realizó una simulación de 1 semana a capacidad máxima con condiciones de la ampliación, con el objetivo de simular las condiciones más cercanas a presentarse en la etapa de ampliación del 2016.

A partir de la información recolectada en campo, la empresa especializada determinó la metodología de monitoreo más representativa con la finalidad de realizar un diseño en base a condiciones aún no existentes (para el 2014) de ampliación, esta metodología fue aplicada en la semana de monitoreo de abril del 2014. Se realizaron 4 monitoreos compuestos de 6 horas cada uno, por un periodo de 5 días, los parámetros analizados fueron: Aceites y Grasas (AyG), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sulfatos (SO₄²⁻), los resultados se muestran en la tabla 7 Campaña de muestreo compuesto empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., periodo de simulación de ampliación.

Tabla 7: Campaña de muestreo compuesto empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., periodo de simulación de ampliación

Fecha	Hora	Parámetros de calidad de agua				
		AyG (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
11/04/2014	7:40 - 13:40	28	3 408	5 896	1 491	196
	13:40 - 19:40	148	2 355	5 348	706	220
	19:40 - 01:40	84.4	6 135	9 030	2 020	183
	01:40 - 07:40	52.2	5 250	6 095	2 371	189
12/04/2014	7:40 - 13:40	19	5 415	11 990	2 226	178
	13:40 - 19:40	59	8 565	12 512	618	200
	19:40 - 01:40	81.9	6 750	10 771	1 026	243
	01:40 - 07:40	70.9	6 915	12 164	644	228
13/04/2014	7:40 - 13:40	96.8	5 535	7 214	833	175
	13:40 - 19:40	83.7	4 665	5 100	1 258	156
	19:40 - 01:40	147	4 335	6 343	1 744	127
	01:40 - 07:40	54.6	11 730	16 169	6 384	191
14/04/2014	7:40 - 13:40	34	6 015	10 547	1 214	171
	13:40 - 19:40	41.3	5 415	6 144	627	200
	19:40 - 01:40	59.3	5 565	8 383	1 029	161
	01:40 - 07:40	61.2	8 565	20 050	2 461	192
15/04/2014	7:40 - 13:40	34.9	4 800	6 020	850	201
	13:40 - 19:40	22.1	7 065	8 035	787	223
	19:40 - 01:40	31.9	6 592	10 365	2 291	174
	01:40 - 07:40	24.9	13 530	16 866	1 645	176

FUENTE: Golosinas y Chocolates Perú S.A.

Los valores de AyG variaron desde un valor mínimo de 19 mg/L hasta un valor máximo de 147 mg/L, con un valor promedio de 62 mg/l, la mayor parte de valores obtenidos se encuentran por debajo o muy cercanos al valor promedio, cuyo valor guarda relación con los 66 mg/L reportados por Givens y Cable (1988) para la operación actual de la PTARI Tom's Food, así como también con los 64 mg/L obtenidos como valor promedio en la campaña de monitoreo durante el 2012 (antes de la ampliación). Sin embargo, durante la caracterización en la simulación de ampliación dos valores fueron muy superiores al promedio, 147 y 148 mg/L, esto se atribuye a que según el programa de producción de la empresa en estudio, durante el periodo de ambos muestreos, hubo mayor fabricación de queques y galletas los cuales llevan cobertura de manteca de palma, en consecuencia mayor concentración de este parámetro proveniente del lavado de bandejas de los productos mencionados y por lo tanto mayor concentración del parámetro AyG.

Los valores de DBO₅ variaron desde un valor mínimo de 2 355 mg/L hasta un valor máximo de 13 530 mg/L, con un valor promedio de 6 430 mg/l, la mayoría de valores resultan menores o muy cercanos al promedio. Estos valores en su mayoría superan en gran medida el rango de 1 020 – 3 150 mg/L obtenidos en la campaña de monitoreo durante el 2012 y, el rango de 500 – 2 380 mg/L reportado por Givens y Cable (1988). Estas grandes variaciones de este parámetro se deben a los diferentes efluentes generados debido a la elaboración de productos golosinarios, que difieren en su composición y generan mayor o menor cantidad de residuos tales como restos de azúcar, harina, restos de fruta, entre otros, que son descargados junto al agua residual.

Los valores de DQO variaron desde un valor mínimo de 5 896 mg/L hasta un valor máximo de 20 050 mg/L, con un valor promedio de 9 752 mg/l, estos valores se encuentran en su mayoría resultan mayores a los obtenidos en la campaña de monitoreo durante el 2012 (6 516 – 7 459 mg/L), sin embargo son menores al valor de 28 000 mg/L dado por Guerrero y Alkalay (1996), la mayoría se encuentran dentro del rango de 10 000 – 30 000 mg/L reportado por Nijhuis Water Technology (2007). Al igual que la DBO₅, este parámetro presenta grandes variaciones en su concentración debido a las diferentes composiciones de los efluentes resultantes de la elaboración de los diversos productos, los cuales varían en contenido de azúcar (sacarosa, glucosa) harina, aceite, manteca de palma, colorantes, pérdida de lotes, entre otros variables.

Los valores de SST variaron desde un valor mínimo de 618 mg/L hasta un valor máximo de 6 384 mg/L, con un valor promedio de 1 611 mg/l; la concentración máxima obtenida para este parámetro es cercana al valor de 6 500 mg/L reportado por Guerrero y Alkalay (1996) para efluentes de manjar y galletas. A excepción de un solo parámetro, todos los valores se encuentran dentro del rango de 756 – 2 950 mg/L dado por Givens y Cable (1998). Los valores obtenidos en comparación con los de la etapa anterior a la ampliación son mucho mayores, del orden de 2.5 veces, esta variación se debe a la fabricación de nuevos productos cuyo insumo principal es la harina, tales como nuevos desarrollos de galleta, gomitas, wafers, entre otros; en consecuencia, mayor cantidad de este insumo en el efluente industrial.

Los valores de SO_4^{2-} variaron desde un valor mínimo de 127 mg/L hasta un valor máximo de 243 mg/L, con un valor promedio de 189.2 mg/l. Este parámetro fue analizado ya que los procesos de lavado de algunas líneas utilizan detergentes, lo cual incrementa los sulfatos en el agua, sin embargo los valores obtenidos se encuentran dentro de lo requerido por los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado público.

Al igual que lo obtenido en la campaña de monitoreo anterior a la ampliación, todos los parámetros de calidad de agua monitoreados a excepción de los sulfatos (SO_4^{2-}) exceden a los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado público, siendo necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para alcanzar los niveles de calidad de agua tratada requeridos por la legislación ambiental aplicable.

4.3. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño de la PTARI para las dos etapas, antes de ampliación y ampliación, fueron dados por la empresa diseñadora.

En este ítem se ha comparado los valores de diversos parámetros de diseño de la PTARI con diversas fuentes bibliográficas, a fin de verificar que estos se encuentren dentro de los rangos aceptables de diseño.

Se presenta un resumen en la tabla 8 Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.

4.3.1. Antes de ampliación

El caudal del agua residual a máxima capacidad de producción fue indicado por la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.

La calidad de agua cruda para diseño por cada parámetro es producto del promedio de las concentraciones obtenidas en los monitoreos realizados durante el periodo 2012. En el ítem 3.2.1 Muestreo de efluente industrial antes de ampliación; las concentraciones de los parámetros de diseño han sido comparadas con diversos estudios de otras empresas del

mismo rubro.

Para el proceso de pre-tratamiento (filtración) el diseñador ha considerado $0.09 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$ como valor para el parámetro de diseño capacidad del efecto coanda, correspondiente a la reja curva, este valor se encuentra dentro del rango de 0.09 a $0.14 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{s}$., dado por Wahl (2003). Cabe indicar que estas rejillas son fabricadas para un rango de capacidad y no un valor específico.

En lo que respecta al tratamiento primario (flotación) los parámetros de diseño en estudio fueron: ratio de carga hidráulica, presión en tanque saturador y ratio de carga de sólidos. El ratio de carga hidráulica elegido por el diseñador fue de $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, este valor está dentro del rango de 0.49 - $13.44 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$., indicado por Ross et al. (2010). La presión en tanque saturador seleccionado por el diseñador fue 6 bar , este valor se encuentra en el rango de 4 a 7 atm ($\text{atm}=1.01315 \text{ bar}$) indicado por Hendricks (2011) para la presión en el saturador antes de la descompresión. Finalmente el ratio de carga de sólidos de diseño fue $160 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{d}$, valor en concordancia con el rango de 93.6 a $328.8 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{h}$., dado por Ross *et al.* (2010).

Tabla 8: Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.

Descripción	Parámetro de diseño	Unidad	Valor		
			A	B	
Calidad y caudal de agua residual industrial	Caudal (Q)	m ³ /día	105	320	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2 039	7 186	
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	7 200	11 164	
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	651	2 555	
	Aceites y Grasas (AyG)	mg/L	64	73	
	Nitrógeno total (N _T)	mg/L	0.1	1.5	
Pre-tratamiento	Fósforo total (P _T)	mg/L	0.2	3.7	
	Capacidad de efecto coanda	m ³ /m ² .s	0.09	0.09	
Tratamiento Primario	Ratio de carga hidráulica	m ³ /m ² .h	0.8	3.2	
	Presión en tanque saturador	Atm	6	6	
	Ratio de carga de sólidos	kg/m ² .d	160	130	
	Requerimiento de nitrógeno	kg N/100 kg DBO ₅	6	6	
	Requerimiento de fósforo	kg P/100 kg DBO ₅	1	1	
	pH	-	6.5-7	6.5-7	
Tratamiento Secundario	F/M	kg DBO/kg SSLM.d	0.25	-	
	Concentración SSLM	mg SS/L	4 000	-	
	Carga Superficial	g DQO/m ² .d	-	30*	24**
	Producción de lodo en exceso	kg SS/kg DBO ₅	0.8	0.18*	0.133**
	Eficiencia de remoción de DBO ₅	por ciento	90	-	-
	Eficiencia de remoción de DQO	por ciento	-	70*	90**
	Carga Volumétrica	Kg DQO/m ³ .d	-	14*	20**

Continuación...

Descripción	Parámetro de diseño	Unidad	Valor		
			A	B	
Tratamiento Secundario	Tiempo de retención hidráulico (TRH)	d	3.3	0.82*	0.4**
	Porcentaje de llenado de soporte (Carrier)	por ciento	-	55*	55**
	Ratio de carga hidráulica (DAF)	m ³ /m ² .h	0.8	0.8	0.8
	Presión en tanque saturador (DAF)	bar	6	6	6
	Ratio de carga de sólidos (DAF)	kg/m ² .d	160	160	160

(*): Reactor MBBR 1; (**): reactor MBBR 2; A: Antes de la ampliación; B: Ampliación.

FUENTE: Elaboración propia

Para el tratamiento secundario tipo lodos activados los parámetros de diseño escogidos fueron: F/M, tiempo de retención hidráulico, concentración SSLM, eficiencia de remoción, producción de lodo en exceso, requerimiento de nitrógeno, requerimiento de fósforo y pH.

El parámetro de diseño relación F/M fue de 0.25 kg DBO/kg SSLM.d, valor acorde con el rango dado por WEF (1998) de 0.2 - 0.6 kg DBO/kg SSLM para lodos activados de mezcla completa.

Con respecto al parámetro tiempo de retención hidráulico (TRH), el diseñador escogió 3.3 días lo que equivale a 79 horas de TRH, teniendo en cuenta que para un efluente doméstico o municipal el TRH fluctúa entre 3 a 5 horas (WEF, 1998) y, que el efluente residual industrial en estudio (con DQO 7 200 mg/L) en comparación con un efluente doméstico de carga media (500 mg/L de DQO, Metcalf & Eddy, 1995), tiene aproximadamente 14.4 veces la concentración de DQO, resulta entonces coherente los 79 horas de TRH escogidas por el diseñador equivalentes a 16 veces el tiempo de retención hidráulica convencional para un efluente doméstico (5 horas).

Para el parámetro SSLM, el diseñador utilizó el valor de 4 000 mg/L, el cual se encuentra en el rango dado por WEF (1998) de 2 500 – 4 000 mg/L.

Con respecto al parámetro de diseño eficiencia de remoción de DBO₅, el diseñador ha elegido trabajar con 90 por ciento para lograr reducir la carga orgánica hasta valores por debajo de los VMA. El valor escogido se encuentra dentro del rango dado por Metcalf & Eddy (1995) de 80 – 95 por ciento.

El parámetro de producción de lodo en exceso por el sistema biológico ha sido dado por el diseñador con un valor de 0.8 kg SSV/kg DBO₅, valor acorde con el rango de 0.7 a 0.10 kg SSV/kg DBO₅ removido.

El parámetro requerimiento de nitrógeno elegido por el diseñador corresponde a 6 kg N/100 DBO₅, valor ligeramente superior al rango de 4.3 - 5.6 kg N/100 kg DBO₅ indicado

por Sperling (2007), el nitrógeno es suministrado al sistema en forma de urea agrícola (pureza de 46 por ciento).

El valor escogido por el diseñador para el parámetro requerimiento de fósforo para el tratamiento de lodos activados fue de 1 kg P/100 kg DBO₅, valor acorde con lo indicado por Sperling (2007) de 0.9 - 1.2 kg P/100 kg DBO₅.

Para el parámetro pH, el rango escogido por el diseñador fue de 6.5 - 7, a fin de mantener un óptimo crecimiento de microorganismos, el cual se mantiene en un rango de 6.5 - 7.5 según lo indicado por Rassa (1984).

En general todos los parámetros de diseño evaluados para la etapa anterior a la ampliación, se encuentran dentro de lo indicado por la literatura de diseño de PTARI.

4.3.2. Ampliación

El caudal del agua residual ha sido calculado según la cantidad de los productos existentes y los nuevos, a máxima capacidad de producción.

La calidad de agua cruda para diseño es producto de los monitoreos realizados del 11/04/2014 al 15/04/2014, bajo la metodología de la empresa diseñadora de la PTARI. Cabe indicar que los valores presentados en la tabla 8, no corresponden al promedio de las concentraciones. Estos valores han sido hallados considerando el valor mínimo obtenido por 6 horas, el valor máximo obtenido por 6 horas y el valor promedio por 12 horas. Los valores de los parámetros monitoreados han sido comparados con diversas empresas del mismo rubro, en el punto 3.2.2 Muestreo de efluente industrial para ampliación.

El diseñador ha considerado 0.09 m³/m².s para el parámetro de diseño capacidad de efecto coanda como parámetro de diseño de la reja curva (filtración), el cual se encuentra dentro del rango de 0.09 a 0.14 m³/m².s., dado por Wahl (2003). Cabe indicar que este tipo de

rejas no se fabrican a medida (un caudal determinado), sino que son vendidas por rango de capacidad; además que bajo el parámetro de diseño es casi nulo el caudal bypass (un porcentaje de fluido que no pasa a través de la reja y termina desbordándose). Este valor es el mismo que el usado para la reja curva de la etapa anterior, ya que se trata del mismo equipo, pero de mayor capacidad.

Referente a los parámetros de diseño del sistema de tratamiento primario (unidad de flotación) la ratio de carga hidráulica seleccionado por el diseñador fue de $3.2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, siendo este 4 veces al seleccionado en la PTARI antes de la ampliación, este parámetro está relacionado directamente con el caudal de agua. El valor de este parámetro es propio del modelo de DAF escogido, el cual incluye placas lamelas, similares a las usadas en la etapa de decantación de agua potable, las placas aumentan virtualmente el área efectiva; en consecuencia, puede pasar mayor cantidad de agua por unidad de área.

Otro parámetro de diseño del sistema de tratamiento primario es la presión en el tanque saturador, los valores para antes y en la ampliación son los mismos, debido a que todas las unidades de flotación (DAF) tienen el mismo valor según el fabricante, debido a la operación del equipo, valor está acorde con el rango de $0.49\text{-}13.44 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$., indicado por Ross *et al.* (2010).

El parámetro de diseño ratio de carga de sólidos es diferente al usado en la etapa anterior a la ampliación, con un valor de $130 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{d}$, siendo 19 por ciento menor al utilizado antes de la ampliación, debido a que los modelos de los equipos usados para ambas etapas son distintos, y el de la ampliación maneja una mayor carga de sólidos, pero menor caudal; mientras que para la ampliación el equipo presenta menor ratio de carga de sólidos pero mayor caudal. El valor dado se encuentra en el rango indicado por Ross et a. (2010) de 93.6 a $328.8 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{h}$.

Para los parámetros de diseño del sistema biológico MBBR, uno de los parámetros usados fue la carga superficial cuyo valor seleccionado por el diseñador fue 30 y $24 \text{ g DQO}/\text{m}^2.\text{d}$ para el primer y segundo reactor MBBR respectivamente. Ambos valores seleccionados, concuerdan con el rango de 24 a $96 \text{ g DQO}/\text{m}^2.\text{d}$ dados por Aygun, Nas y Berctay (2007)

para eficiencias de remoción de DQO mayor a 80 por ciento, cabe aclarar que para concentraciones de DQO altas se utiliza altas cargas superficiales, sin embargo se obtiene menores eficiencias de remoción (menor calidad de agua tratada) y viceversa, esa es la razón de los valores escogidos por el diseñador.

En relación al parámetro porcentaje de llenado de portadores en el reactor MBBR, el valor seleccionado por el diseñador para ambos reactores fue de 55 por ciento, valor dentro del rango 30 – 70 por ciento dado por Aygun et al. (2007). Para futuras ampliaciones en términos de aumento de concentraciones de DQO, aún puede usarse el 15 por ciento de llenado de portadores que está disponible como parámetro de diseño.

Para el parámetro carga volumétrica, el diseñador utilizó 22 y 30 kg DQO/m³.d para los reactores MBBR 1 y MBBR 2, respectivamente. Aygun et al. (2007) indica que el rango adecuado para este parámetro es de 1.5 a 24 kg DQO/m³.d. El valor usado para el MBBR 2 es mayor a lo reportado en la literatura en mención, lo cual se debe a que Aygun et al (2007) en su estudio experimental utilizó un portador de capacidad de 500 m²/m³, en lugar de los 650 m²/m³ correspondiente al portador usado en el diseño de la PTARI en evaluación.

Para el parámetro pH, el rango escogido por el diseñador fue de 6.5 - 7, a fin de mantener un óptimo crecimiento de microorganismos, el cual se mantiene en un rango de 6.5 - 7.5 según lo indicado por Rassa (1984).

Con respecto a la unidad de clarificación de agua tratada de los lodos del sistema biológico, DAF clarificador, los valores seleccionados para los parámetros de diseño (ratio de carga hidráulica, presión en tanque saturador y ratio de carga de sólidos) son los mismos a los usados en la etapa anterior a la ampliación. Esto debido a que se usaron los mismos equipos.

La selección del sistema de tratamiento de lodos, ha sido realizada por el proveedor de la unidad decantadora centrífuga, haciendo uso del caudal diario de lodo generado, tipo de lodo (mezcla de lodo primario y secundario), rubro de la empresa de la PTARI (con la

finalidad de conocer si determinados componentes pueden dañar al equipo y por lo tanto requiriese de materiales especiales para determinados componentes), kilos de sólidos generados diariamente, espacio disponible, presupuesto, entre otros.

En general, todos los parámetros de diseño evaluados para la etapa de ampliación, se encuentran dentro de lo indicado por la literatura de diseño de una PTARI.

4.4. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

De los parámetros de diseño descritos en los ítems 4.3.1 y 4.3.2 del presente documento, el diseñador determinó las unidades de tratamiento requeridas para alcanzar la calidad de agua tratada requerida (VMA), se indica en la tabla 9 Descripción de unidades de tratamiento antes y en la ampliación.

El resumen de las etapas de tratamiento se indica en la tabla 10 Etapas de tratamiento PTARI antes y la ampliación.

Los diferentes efluentes residuales industriales producto de la manufacturación de golosinas y chocolates provenientes de la Planta de producción de la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., descargan a una cámara de bombeo la cual cuenta con una bomba sumergible a fin de alimentar al sistema de filtración de sólidos finos (reja curva).

Tabla 9: Descripción de unidades de tratamiento antes y en la ampliación

Etapa	Equipamiento principal		Q.		Tipo, marca	Capacidad (c/u)		
	A	B	A	B		Unidad	A	B
Pre-tratamiento	Bomba de alimentación a reja curva		1	1	Sumergible, KSB	m ³ /h	5-7	27
	Reja curva		1	1	Autolimpiante, NWT	m ³ /h	7	27
	Control de nivel		1	1	Sensor de presión, Vegawell	Bar	0-0.4	0-0.4
	Mezclador de tanque ecualizador		-	1	Sumergible, KSB	kW	-	11.2
	Unidad de flotación		1	1	DAF, NWT	m ³ /h	7	15
	Tubería floculadora		-	1	Tubular estático, NWT	m ³ /h	-	15
Tratamiento Primario	Bomba dosificadora de coagulante		-	1	Diafragma, Grundfos	L/h	-	0-30
	Bomba dosificadora de neutralizante		-	1	Diafragma, Grundfos	L/h	-	0-30
	Bomba dosificadora de floculante		-	1	Diafragma, Grundfos	L/h	-	60
	Estación preparadora de floculante		-	1	Automática, NWT	L/h	-	1 000
	Bomba de alimentación a tubería floculadora		-	1	Sumergible, KSB	m ³ /h	-	13
	Controlador y sensor de pH		-	1	PID y sensor en línea, Yokogawa	s/u	-	0-14
Tratamiento Secundario	Bomba dosificadora de neutralizante		1	-	Diafragma, Grundfos	L/h	0-30	-
	Bomba dosificadora de fósforo		1	1	Diafragma, Grundfos	L/h	0-2	0-2
	Bomba dosificadora de nitrógeno		1	1	Diafragma, Grundfos	L/h	0-30	0-30
	Controlador y sensor de pH		1	1	PID y sensor en línea, Hach	s/u	0-14	0-14
	Aireador		1	-	Superficial-vertical, Aquaturbo	kW	30	-
	Soplador de aire		-	2	Émbolo rotativo, Aerzen	m ³ /h	-	3 000
Tratamiento Secundario	Malla de aireación		-	1	Tubulares de burbuja gruesa, NWT	s/u	-	s/c
	Control de nivel		1	1	Sensor de presión, Vegawell	Bar	0-0.4	0-0.4
	Controlador y sensor de oxígeno disuelto		1	1	PID y sensor en línea, Hach	mg O ₂ /L	0-20	0-20
	Bomba de alimentación a unidad de flotación		1	2	Cavidad progresiva, KSB	m ³ /h	7	7
	Bomba dosificadora de floculante		1	2	Cavidad progresiva, Allweiler	L/h	60	90
	Unidad de flotación		1	2	DAF, NWT	m ³ /h	7	7

Continuación...

Etapa	Equipamiento principal		Q.		Tipo, marca	Capacidad (c/u)		
	A	B	A	B		Unidad	A	B
Tratamiento de lodos	Control de nivel		1	1	Sensor de presión, Vegawell	Bar	0-0.4	0-0.4
	Bomba de alimentación a decanter		1	1	Cavidad progresiva, Allweiler	m ³ /h	0-3	0-3
	Estación preparadora de floculante		1	1	Automática, NWT	L/h	1 000	1 000
	Bomba dosificadora de floculante		1	1	Cavidad progresiva, Allweiler	L/h	160	160
	Decanter		1	1	Centrífuga de 2 fases, Alfa Laval	m ³ /h	0-3	0-3

A: Antes de la ampliación; B: Ampliación; s/u: sin unidad; s/c: sin capacidad; c/u: cada uno.

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Etapas de tratamiento PTARI antes y en la ampliación

Etapas	Antes de ampliación	Ampliación
Pre-tratamiento	- Cámara de bombeo - Filtración de sólidos finos	- Cámara de bombeo - Ecuilización - Filtración de sólidos finos
Tratamiento primario	- Flotación	- Coagulación, floculación y flotación
Tratamiento secundario	- Lodos activados	- MBBR
Tratamiento de lodos	- Deshidratación de lodos	- Deshidratación de lodos

FUENTE: Elaboración propia.

Tanto para la PTARI antes y en ampliación, se consideró utilizar la misma unidad cámara de bombeo, a pesar que la ampliación en términos de caudal de efluente crudo que se descarga a dicha unidad contempla un caudal de 4.5 veces lo considerado antes de la ampliación (27 m³/h frente a 6 m³/h), debido al escaso espacio disponible y a fin de no modificar la obra civil, para la ampliación sólo se incrementó de capacidad de la bomba de alimentación a la reja curva a fin de mantener el tiempo de retención hidráulico dentro de la cámara de bombeo y, que la bomba sumergible no encienda más de seis veces al día.

Una de las unidades de tratamiento adicional consideradas en la ampliación de la PTARI es el sistema de tratamiento primario, ya que en la etapa previa a la ampliación solo se realizaba un tratamiento físico (flotación) para separación principalmente de AyG, mientras que la ampliación considera un sistema primario con adición de químicos para remover contaminantes (principalmente coloides y aceites y grasas) mediante coagulación, floculación y flotación debido a una mayor concentración de SST presente en el efluente crudo a remover a fin de reducir al máximo posible la materia orgánica asociada a los SST del influente al sistema biológico y, en consecuencia reducir el tamaño requerido para el sistema secundario.

Otro de los cambios significativos realizados para la PTARI en ampliación fue la selección de un sistema secundario diferente al aplicado antes de la ampliación, es decir, la etapa previa consideraba un sistema biológico tipo lodos activados, mientras que la ampliación considera un sistema biológico tipo MBBR (*Moving Bed Bio Reactor*) debido a que este tipo de tratamiento requiere de un espacio mucho menor a lo requerido por un lodos activados convencional, espacio que no se tenía disponible para la ampliación. La configuración del sistema biológico MBBR, es dos reactores en serie, tal como lo indica Neu (2012) cuando el objetivo del tratamiento es solo la remoción de la DBO₅, un solo reactor MBBR es suficiente; sin embargo, cuando el efluente presenta una carga mucho más concentrada que un efluente doméstico o el objetivo es la nitrificación superior al 80 por ciento, se requiere dos reactores, tal como es el caso del presente estudio para la ampliación.

Para el tratamiento de lodos con respecto a la ampliación, no se ha cambiado la decantadora centrífuga, tampoco se ha incrementado la capacidad de la bomba de alimentación, solo se ha incrementado las horas de operación diaria de la decantadora debido a que la capacidad de esta unidad lo permite, a fin de cubrir la necesidad de deshidratación del nuevo volumen de lodo generado diariamente en consecuencia de un mayor caudal de agua a tratar y una mayor carga contaminante del efluente crudo.

4.5. DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

La principal razón por la cual se seleccionó el sistema de tratamiento biológico tipo MBBR fue el reducido espacio disponible con el que contaba al interior de sus instalaciones la empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A.

A continuación, se indica el resumen de las etapas de tratamiento, en la tabla 11 Dimensiones principal equipamiento PTARI antes de ampliación y, tabla 12 Dimensiones principal equipamiento PTARI en ampliación.

Tabla 11: Dimensiones principal equipamiento PTARI antes de ampliación

Etapas	Descripción*	Dimensiones					
		Largo (m)	Ancho (m)	Altura total (m)	Altura útil (m)	Área (m ²)	Volumen útil (m ³)
Pre-tratamiento	Cámara de bombeo	1.2	1.2	3.8	2.0	1.44	2.88
	Reja curva	1.04	0.67	2.5	-	0.7	-
Tratamiento Primario	DAF (flotación)	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
Tratamiento secundario	Reactor Lodos activados	9.3	9.3	-	3.9	86.5	337
	DAF clarificador	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
	Tubería floculadora	5.1	0.5	1.1	-	2.55	-
Tratamiento de lodos	Tanque de lodos	1.6	1.6	1.9	2.2	2.56	4.86
	Decantadora centrífuga	1.9	0.6	1	-	1.14	-

* No incluye equipos periféricos tales como bombas, estaciones de preparación de floculante, otros.
FUENTE: elaboración propia.

Tabla 12: Dimensiones principal equipamiento PTARI en ampliación

Etapa	Descripción*	Dimensiones					
		Largo (m)	Ancho (m)	Altura total (m)	Altura útil (m)	Área (m ²)	Volumen útil (m ³)
Pre-tratamiento	Cámara de bombeo	1.2	1.2	3.8	2.0	1.44	2.88
	Reja curva	1.04	1.27	2.5	-	1.32	-
Tratamiento Primario	Tubería flocladora (coagulación y floclación)	2.4	0.4	1.1	-	0.96	-
	DAF (flotación)	2.4	1.9	2.0	-	4.56	3.2
	Reactor MBBR 1	9.3	5.4	6.0	5.5	50.22	276.21
	Reactor MBBR 2	9.3	3.3	6.0	5.5	30.69	168.8
Tratamiento secundario	Tubería flocladora 1 (floclación)	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
	Tubería flocladora 2 (floclación)	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
	DAF clarificador 1	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
	DAF clarificador 2	3.2	1.5	2.4	-	4.8	1.6
	Tanque de lodos	1.6	1.6	1.9	2.2	2.56	4.86
Tratamiento de lodos	Decantadora centrífuga	1.9	0.6	1	-	1.14	-

* No incluye equipos periféricos tales como: bombas, estaciones de preparación de floclante, otros, no incluye cuarto eléctrico ni almacén de químicos.

FUENTE: elaboración propia.

Para mayor visualización del área requerida por tratamiento, se presenta la tabla 13 Comparación de dimensiones de PTARI antes y en ampliación.

Tabla 13: Comparación de dimensiones de PTARI antes y en ampliación

Etapa	PTARI*	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Pre-tratamiento y tratamiento de lodos	Antes de ampliación	10.54	6	63.24
	Ampliación	10.54	6	63.24
Tratamiento secundario y primario	Antes de ampliación	9.3	9.3	86.49
	Ampliación	18.6	9.3	172.98

* Incluye todos los equipos periféricos, pero no incluye cuarto eléctrico ni almacén de químicos.

FUENTE: elaboración propia.

Se ha presentado un área en conjunto para el pre-tratamiento y el tratamiento de lodos, ya que ambos comparten área en común, es decir, el tratamiento de lodos está ubicado en una plataforma junto con la unidad reja curva, debajo de esta plataforma se encuentra ubicada la cámara de bombeo. Debido a que la cámara de bombeo se mantiene (solo cambia capacidad de bomba sumergible), y la reja curva utilizada para la ampliación no difiere en gran medida de la usada antes de la ampliación y, considerando que el sistema de lodos se ha mantenido tal cual (solo aumentó las horas de operación por día- manejo del proceso), las áreas para estos tratamientos en la PTARI antes y ampliación, se mantiene iguales.

Sin embargo, sí existe una diferencia en el área requerida por el sistema secundario (biológico) y primario, es decir, antes de la ampliación se requería 86.49 m^2 , mientras que para la ampliación se requieren 172.98 m^2 , un incremento del 100 por ciento en área, de esta diferencia el sistema biológico MBBR es responsable de 80.91 m^2 (incluyendo ambos reactores), es decir el incremento del 100 por ciento viene dado prácticamente por la nueva área para el sistema biológico MBBR.

Se ha realizado un cálculo a modo de comparación bajo las mismas condiciones de calidad y caudal del agua residual de la ampliación y considerando los mismos sistemas de pre-tratamiento y tratamiento primario aplicados a la ampliación, pero manteniendo el sistema biológico tipo lodos activados convencional, es decir, si el área disponible para la PTARI no hubiese sido determinante para la selección del tipo de sistema secundario (biológico), cabe indicar que para dicho cálculo se usaron los mismos parámetros de diseño de la tabla 8 “Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., de lodos activados, incluyendo la eficiencia de remoción de DBO por parte del tratamiento primario (30 por ciento), es decir, el DBO_5 influente al sistema biológico sería $5\,030 \text{ mg DBO/L}$ ($1\,607 \text{ kg DBO}$ a razón de un caudal de $320 \text{ m}^3/\text{d}$), así como el F/M usado en la primera etapa fue de $0.25 \text{ kg DBO/kg SSLM.d}$, por lo que requeriría $6\,428 \text{ kg SSLM}$; bajo una concentración de $4\,000 \text{ mg SSLM/L}$ (4 kg SSLM/m^3), el reactor hubiese requerido de $1\,607 \text{ m}^3$ (considerando una altura de 4 m , la misma altura útil usada en el reactor biológico antes de la ampliación), lo cual corresponde a un área de 401 m^2 (aproximadamente con dimensiones $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$). Por lo tanto, de haberse realizado la ampliación de la PTARI manteniendo el mismo tipo de

sistema biológico se hubiese requerido de un área de 401.5 m² frente a los 86.5 m² requeridos por el sistema biológico MBBR.

Cabe indicar que el diseño de un sistema biológico, en su mayoría resulta en un volumen de reactor, y para determinar el área requerida por el sistema, se debe considerar un valor de altura, lo cual hace variar el área requerida. Sperling (2007) menciona que los rangos generales para la aireación mecánica, como el caso del aireador superficial del sistema lodos activados, es de 3.5 a 4.5 m, mientras que para los difusores de aire (desde sopladores) para sistemas MBBR la profundidad se encuentra entre los 4.5 a 6 m; además menciona que el borde libre suele ser próximo a los 0.5 m.

4.6. CALIDAD DE AGUA TRATADA

La calidad de agua tratada requerida debe cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado público.

La calidad de agua tratada para la PTARI antes de la ampliación se ha recogido de monitoreos realizados por la fábrica Golosinas y Chocolates Perú S.A., a través de muestreos puntuales llevados a cabo por laboratorios certificados en el mes de enero del 2014, dichos análisis fueron registrados por el operador de la PTARI en el cuaderno de operación, desde dicho documento se ha obtenido la información que se presenta en la tabla 14 Calidad de agua cruda y tratada, PTARI antes de ampliación.

De igual manera que la etapa anterior a la ampliación, la calidad de agua tratada para la PTARI en la ampliación, proviene de monitoreos realizados por la fábrica Golosinas y Chocolates Perú S.A., a través de muestreos puntuales llevados a cabo por laboratorios certificados en el mes de junio del 2017, fecha en la cual ya se había instalado la nueva PTARI y la empresa en estudio estaba a máxima capacidad de producción, dichos análisis fueron registrados por el operador de la PTARI en el cuaderno de operación, desde dicho documento se ha obtenido la información que se presenta en la tabla 15 Calidad de agua cruda y tratada, PTARI en ampliación.

Tabla 14: Calidad de agua cruda y tratada, PTARI antes de ampliación

Fecha	Parámetro	Efluente crudo (mg/L)	Salida Tratamiento Primario		Salida Tratamiento Biológico	
			Valor (mg/L)	Eficiencia (por ciento)	Valor (mg/L)	Eficiencia (por ciento)
08/01/2014	DQO	7 340	6 800	7.36	320	95.3
	DBO ₅	3 300	3 000	9.09	128	95.7
	SST	790	710	10.1	50	93
	AyG	86.5	3.9	95.5	1.2	69.2
10/01/2014	DQO	7 280	6 597	9.4	290	95.6
	DBO ₅	2 496	2 254	9.7	135	94
	SST	594	553	6.9	62	88.8
	AyG	39.1	2.6	93	N.D.	80.8
13/01/2014	DQO	7 630	6 800	10.9	380	94.41
	DBO ₅	2 561	2 350	8.24	117	95.02
	SST	852	764	10.3	66	91.36
	AyG	94.6	4.2	95.6	1.1	73.81
16/01/2004	DQO	6 920	6 321	8.7	269	95.7
	DBO ₅	2 257	2 094	7.2	143	93.2
16/01/2004	SST	931	862	7.4	42	95.1
	AyG	22.9	0.9	96	N.D.	44.4
	DQO	6 460	5 985	7.4	310	94.8
20/01/2014	DBO ₅	1 882	1 735	7.8	110	93.7
	SST	433	392	9.5	36	90.8
	AyG	27	2.4	91	1.3	45.8

N.D.: Por debajo del límite de detección

FUENTE: Cuaderno de operación PTARI Golosinas y Chocolates Perú S.A.

Las eficiencias registradas por las etapas de pre-tratamiento y tratamiento primario de la PTARI antes de la ampliación, durante el periodo de monitoreo de enero del 2014, fueron 8.75 por ciento, 8.41 por ciento, 8.84 por ciento y 94.22 por ciento para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. Las eficiencias para la DQO, DBO₅ y SST resultaron mínimas debido a que solo se removían los sólidos finos en la reja curva y una muy pequeña proporción de SST en la unidad de flotación (tratamiento primario) sin químicos, sin embargo se logró 94.22 por ciento de eficiencia de remoción para AyG, los aceites y grasas tienen una densidad menor a la del agua lo cual los hace aún más removibles por medio de la flotación.

Las eficiencias registradas para la etapa de tratamiento secundario (lodos activados) la PTARI antes de la ampliación, durante el periodo de monitoreo de enero del 2014, fueron 95.20 por ciento, 94.3 por ciento, 91.8 por ciento y 62.8 por ciento para los parámetros

DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. La eficiencia obtenida para la DBO₅ está conforme al parámetro de diseño de un sistema de lodos activados (90 por ciento).

Las eficiencias registradas por la PTARI (todos los tratamientos en conjunto) antes de la ampliación, durante el periodo de monitoreo de enero del 2014, fueron 95.60 por ciento, 94.79 por ciento, 92.53 por ciento y 97.83 por ciento para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. Por lo tanto, la mayor eficiencia para DQO, DBO₅, SST, viene dada principalmente el sistema de tratamiento secundario y en un mucho menor aporte por los sistemas de pre-tratamiento y tratamiento primario; mientras que la remoción de AyG se da principalmente por el sistema de tratamiento primario.

Tabla 15: Calidad de agua cruda y tratada, PTARI en ampliación

Fecha	Parámetro	Efluente crudo (mg/L)	Salida Tratamiento Primario		Salida Tratamiento Biológico	
			Valor (mg/L)	Eficiencia (por ciento)	Valor (mg/L)	Eficiencia (por ciento)
13/06/2017	DQO	10 080	7 358	27	360	95.1
	DBO ₅	6 488	4 475	31	233	94.8
	SST	2 520	124	95.1	70	43.5
	AyG	85.2	7.3	91.4	4.3	41.1
16/06/2017	DQO	11 980	8 146	32	380	95.3
	DBO ₅	7 711	5 630	27	208	96.3
	SST	2 890	203	93	60	70.4
	AyG	73.6	6.4	91	1.2	81.1
17/06/2017	DQO	12 630	9 097	28	420	95.38
	DBO ₅	8 130	6 016	26	268	95.55
	SST	2 730	191	93	80	58.12
	AyG	92.3	7.5	91.9	3.6	52
20/06/2017	DQO	10 650	7 349	31	320	95.6
	DBO ₅	6 855	4 593	33	174	96.2
	SST	2 670	161	94	70	56.5
	AyG	68.8	9.2	87	2.9	68.5
21/06/2017	DQO	9 730	6 800	30	290	95.7
	DBO ₅	6 230	4 509	28	171	96.2
	SST	3 250	272	92	50	81.6
	AyG	57.1	10.5	82	4.5	57.1

N.D.: Por debajo del límite de detección

FUENTE: Cuaderno de operación PTARI Golosinas y Chocolates Perú S.A.

Las eficiencias registradas por las etapas de pre-tratamiento y tratamiento primario de la PTARI en la ampliación, durante el periodo de monitoreo de junio del 2017, fueron 29.60 por ciento, 29.00 por ciento, 93.42 por ciento y 88.66 por ciento para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. Las mayores eficiencias fueron obtenidas para la remoción de SST y AyG, esto debido a que el sistema de tratamiento primario incluye la remoción principalmente de coloides por adición de químicos tales como coagulante y floculante, y además remueven la materia orgánica (DQO y DBO₅) asociada a los SST removidos, así como también la DQO generada por los AyG removidos.

Las eficiencias registradas para la etapa de tratamiento secundario (lodos activados) la PTARI antes de la ampliación, durante el periodo de monitoreo de enero del 2014, fueron 95.40 por ciento, 95.8 por ciento, 62.0 por ciento y 60.0 por ciento para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. La eficiencia obtenida para la DQO está conforme al parámetro de diseño de un sistema MBBR (70 por ciento de remoción para el primer reactor MBBR y 90 por ciento de remoción para el segundo reactor MBBR).

Las eficiencias registradas por la PTARI (todos los tratamientos en conjunto) antes de la ampliación, durante el periodo de monitoreo de enero del 2014, fueron 96.79 por ciento, 97.03 por ciento, 97.61 por ciento y 96.35 por ciento para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente. Por lo tanto, la mayor eficiencia para DQO, DBO₅ viene dada principalmente el sistema de tratamiento secundario (MBBR); mientras que la mayor eficiencia para SST y AyG viene dada por el sistema de tratamiento primario (con químicos).

En general las eficiencias obtenidas para los parámetros de calidad evaluados, en las PTARI antes (DQO: 95.6 por ciento, DBO₅: 94.79 por ciento, SST: 92.53 por ciento y AyG: 97.83 por ciento) y en la ampliación (DQO: 96.79 por ciento, DBO₅: 97.03 por ciento, SST: 97.61 por ciento y AyG: 96.35 por ciento), guardan mucha similitud. Así mismo, las eficiencias obtenidas si evaluamos solo los sistemas biológicos, lodos activados antes de la ampliación (DQO: 95.2 por ciento, DBO₅: 94.3 por ciento, SST: 91.8 por ciento y AyG: 62.8 por ciento) y MBBR para la ampliación (DQO: 95.4 por ciento, DBO₅: 95.8 por ciento, SST: 62.0 por ciento y AyG: 60 por ciento), son muy similares solo a excepción de los SST que debido a que son removidos en su mayoría por el sistema de tratamiento primario de la ampliación, queda mucho menos concentración

a remover por el sistema biológico MBBR y por tanto menor eficiencia de remoción de este parámetro por el sistema de tratamiento secundario.

La calidad de agua tratada tanto en la etapa previa a la ampliación como en la ampliación, cumple con lo requerido por la legislación ambiental aplicable, Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado sanitario.

4.7. VOLUMEN DE LODOS PARA DISPOSICIÓN FINAL

El lodo a disponer en un relleno sanitario, de un sistema de tratamiento primario corresponde principalmente a AyG en caso solo se realice separación física por flotación; mientras que en un sistema primario donde se realice además de ello coagulación y floculación, lo que consigue remover adicionalmente es un alto porcentaje de SST, estos contaminantes guardan estrecha relación con la materia orgánica coloidal presente en el agua cruda.

Sin embargo, la generación de lodos en el sistema biológico se debe a la conversión de la materia orgánica soluble presente en el agua residual que es transformada en nuevos microorganismos, de los cuales una parte es retirada como lodo en exceso a fin de mantener el equilibrio de microorganismos dentro del reactor biológico.

La generación de lodo en una PTARI está directamente relacionada con la calidad de agua de ingreso.

4.7.1. Antes de ampliación

Se indica a continuación un resumen para la PTARI antes de la ampliación, tabla 16 Producción de lodo PTARI antes de ampliación.

Tabla 16: Producción de lodo PTARI antes de ampliación

Fecha	Parámetro	Efluente crudo (mg/L)	Lodo de Tratamiento Primario (m ³ /día)	Lodo de Tratamiento Biológico (m ³ /día)	Lodo deshidratado por la decantadora centrífuga (kg/día)	por ciento sólidos secos
08/01/2014	DQO	7 340	0.43	6.03	1266.3	20
	DBO ₅	3 300				
	SST	790				
	AyG	86.5				
10/01/2014	DQO	7 280	0.27	4.17	892.5	20
	DBO ₅	2 496				
	SST	594				
	AyG	39.1				
13/01/2014	DQO	7 630	0.54	4.10	996.0	18
	DBO ₅	2 561				
	SST	852				
	AyG	94.6				
16/01/2004	DQO	6920	0.27	3.74	742.8	21
	DBO ₅	2257				
	SST	931				
	AyG	22.9				
20/01/2014	DQO	6 460	0.17	3.41	739.9	19
	DBO ₅	1 882				
	SST	433				
	AyG	27				

FUENTE: Elaboración propia.

La generación de lodos para la etapa previa de ampliación fue en promedio 927.5 kg/día, con variaciones dependiendo de la calidad de agua cruda a ser tratada. Este valor es resultado de la deshidratación por una decantadora centrífuga de dos fases. En promedio el sistema biológico de lodos activados para este caso de estudio producía hasta 19 veces más lodo en m³/día que el sistema primario.

4.7.2. Ampliación

Se indica a continuación la tabla resumen de generación de lodo a disponer, en la tabla 17 Producción de lodo PTARI en ampliación.

Tabla 17: Producción de lodo PTARI en ampliación

Fecha	Parámetro	Efluente crudo (mg/L)	Lodo de Tratamiento Primario (m ³ /día)	Lodo de Tratamiento Biológico (m ³ /día)	Lodo deshidratado por la decantadora centrífuga (kg/día)	por ciento sólidos secos
13/06/2017	DQO	10 080	7.92	16.97	7 201.7	20
	DBO ₅	6 488				
	SST	2 520				
	AyG	85.2				
16/06/2017	DQO	11 980	8.01	18.22	6 577.1	24
	DBO ₅	7 711				
	SST	2 890				
	AyG	73.6				
17/06/2017	DQO	12 630	7.43	17.93	6 105.8	25
	DBO ₅	8 130				
	SST	2 730				
	AyG	92.3				
20/06/2017	DQO	10 650	6.85	15.91	5 498.8	26
	DBO ₅	6 855				
	SST	2 670				
	AyG	68.8				
21/06/2017	DQO	9 730	8.80	16.31	6 109.8	26
	DBO ₅	6 230				
	SST	3 250				
	AyG	57.1				

FUENTE: Elaboración propia.

La generación de lodos para la etapa previa de ampliación fue en promedio 6298.64 kg/día, con variaciones dependiendo de la calidad de agua cruda a ser tratada. Este valor es resultado de la deshidratación por una decantadora centrífuga de dos fases.

En promedio el sistema biológico MBBR para este caso de estudio produjo hasta 1.4 veces más lodo en m³/día que el sistema primario, la brecha con respecto a la PTARI previa a la ampliación debido a que ahora se genera una cantidad considerable de lodo es consecuencia de la remoción de la parte coloidal del agua cruda mediante la adición de químicos.

Comparando solo la generación de lodos de los sistemas biológicos para la PTARI antes y en la ampliación, se obtiene que la generación de lodos aumentó hasta en 5.8 veces, es

decir, de producir 927.5 kg/día ahora se produce en promedio 6 298.64 kg/día, esto debido a la mayor carga orgánica soluble que tiene que remover el sistema biológico MBBR de la ampliación, en consecuencia del aumento de las concentraciones de los parámetros de DQO y DBO₅ influentes al sistema biológico.

A modo de comparación, se ha realizado un cálculo de lodo generado por el sistema biológico, a modo de comparación bajo las mismas condiciones de calidad y caudal del agua residual de la ampliación y considerando los mismos sistemas de pre-tratamiento y tratamiento primario aplicados a la ampliación, pero manteniendo el sistema biológico tipo lodos activados convencional, es decir, si el área disponible para la PTARI no hubiese sido determinante para la selección del tipo de sistema secundario (biológico), cabe indicar que para dicho cálculo se usaron los mismos parámetros de diseño de la tabla 8 Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A. de lodos activados. Los resultados se muestran en la tabla 18 Lodo biológico en exceso para PTARI en ampliación manteniendo el sistema de lodos activados.

Tabla 18: Lodo biológico en exceso para PTARI en ampliación manteniendo el sistema de lodos activados

Fecha	Efluente crudo (mg/L)	kg DBO después del Tratamiento Primario	Lodo de Tratamiento Biológico	Lodo deshidratado por la decantadora centrífuga (solo por aporte del sistema biológico)		
	Kg DBO/día	Kg/día	m ³ /día	Kg/día	m ³ /día	Sólidos secos (por ciento)
13/06/2017	6 488	1 453.3	29.1	5 813.2	5.7	20
16/06/2017	7 711	1 727.3	34.5	6 909.1	6.8	20
17/06/2017	8 130	1 821.1	36.4	7 284.5	7.1	20
20/06/2017	6 855	1 535.5	30.7	6 142.1	6.0	20
21/06/2017	6 230	1 395.5	27.9	5 582.1	5.5	20

FUENTE: Elaboración propia.

Por lo tanto, comparando bajo las mismas condiciones de la ampliación del sistema MBBR, si se hubiera mantenido el sistema biológico tipo lodos activados, en promedio se hubiese producido aproximadamente 31.72 m³/día de lodo en exceso (solo por aporte del sistema biológico), en consecuencia manteniendo el sistema biológico anterior se

tendría mucho mayor generación de lodos frente a los 17.07 m³/día generados por el sistema MBBR, es decir una generación de 85.8 por ciento más de producción de lodo biológico, lo cual se traduce en un mayor costo de operación en términos de disposición de lodos. Lo indicado anteriormente guarda relación con lo mencionado por Van Hanndel y Van der Lubbe (2012), debido a la depredación en las bacterias MBBR de rápido crecimiento en el sistema de lodos activados, la producción de lodos en exceso será típicamente 30-50 por ciento menor que el sistema de lodos activados.

4.8. COSTO DE OPERACIÓN

Debido a que el costo de operación de una PTARI es de vital importancia ya que es el costo que se va a mantener constante mientras se realice el tratamiento del agua residual, se ha calculado los costos de operación para la PTARI antes y en la ampliación. Este costo contempla las partidas: personal, mantenimiento, energía, químicos, disposición de lodos y misceláneo (indumentaria, materiales de limpieza, análisis de laboratorio).

Asimismo, a modo de comparación, se ha realizado un cálculo de costo de operación por m³ de agua tratada, bajo las mismas condiciones de calidad y caudal del agua residual de la ampliación y considerando los mismos sistemas de pre-tratamiento y tratamiento primario aplicados a la ampliación, pero manteniendo el sistema biológico tipo lodos activados convencional, es decir, si el área disponible para la PTARI no hubiese sido determinante para la selección del tipo de sistema secundario (biológico), cabe indicar que para dicho cálculo se usaron los mismos parámetros de diseño de la tabla 8 Parámetros de diseño de PTARI antes y en ampliación, empresa Golosinas y Chocolates Perú S.A., de lodos activados. Los resultados se muestran en la tabla 19 Costo de operación por m³ de agua tratada por PTARI antes, en ampliación y simulación ampliación con lodos activados.

Tabla 19: Costo de operación por m³ de agua tratada por PTARI antes, en ampliación y simulación ampliación con lodos activados

Concepto	Unidad	Cantidad			Unidad	Precio unitario			Valor anual (US\$)		
		A	B	C		A	B	C	A	B	C
1. Personal											
1a. Operador técnico	persona	1	1	1	US\$/año	7 636.4	7 636.4	7 636.4	7 636.36	7 636.36	7 636.36
1b. Operario	persona	1	2	2	US\$/año	4 327.3	4 327.3	4 327.3	4 327.27	8 654.55	8 654.55
Subtotal									11 963.63	16 290.91	16 290.91
2. Mantenimiento											
2a. Pre- tratamiento	global	1	1	1	US\$/año	630.42	690.4	690.4	630.42	690.42	690.42
2b. Tratamiento Primario	global	1	1	1	US\$/año	1 314.33	3 120.1	3 120.1	13 14.33	3 120.07	3 120.07
2c. Tratamiento Secundario	global	1	1	1	US\$/año	2 566.96	3 642.4	3 642.4	2 566.96	3 642.35	3 642.35
2d. Tratamiento de lodos	global	1	1	1	US\$/año	1 144.61	1 144.6	1 144.6	1 144.61	1 144.61	1 144.61
Subtotal									5 656.32	8597.45	8 597.45
3. Energía											
3a. Pre- tratamiento	kW-h/año	7 592.0	84 726.7	84 726.7	US\$/kW-h	US\$0.07	US\$0.07	US\$0.07	493.48	5 507.24	5 507.24
3b. Tratamiento Primario	kW-h/año	23 885.6	46 423..6	46 423..6	US\$/kW-h	US\$0.07	US\$0.07	US\$0.07	1 552.56	3 017.54	3 017.54
3c. Tratamiento Secundario	kW-h/año	198 431.5	534 173.1	534 173.1	US\$/kW-h	US\$0.07	US\$0.07	US\$0.07	12 898.05	34 721.25	29 877.56
3d. Tratamiento de lodos	kW-h/año	26 846.5	62 143.4	62 143.4	US\$/kW-h	US\$0.07	US\$0.07	US\$0.07	1 745.02	4 039.32	5 509.70
Subtotal									16 689.11	47 285.35	43 912.03
4. Químicos											
4a. Tratamiento Primario											
- Coagulante	Kg/año	- (*)	70 080.0	70 080.0	US\$/kg	-	0.85	0.85	-	59 568.00	59 568.00
- Neutralizante	Kg/año	- (*)	46 720.0	46 720.0	US\$/kg	-	0.48	0.48	-	20 089.60	20 089.60
- Floculante	Kg/año	- (*)	467.2	467.2	US\$/kg	-	4.75	4.75	-	2 219.20	2 219.20
4b. Tratamiento Secundario											
- Neutralizante	Kg/año	3832.50	- (*)	- (*)	US\$/kg	0.43	-	-	1 647.98	-	-
- Fósforo	Kg/año	1893.71	57 71.3	57 71.3	US\$/kg	0.41	0.41	0.41	776.42	2 366.23	2 366.23
- Nitrógeno	Kg/año	11497.50	35 040.0	35 040.0	US\$/kg	0.21	0.21	0.21	2 414.48	7 358.40	7 358.40
- Floculante	Kg/año	153.30	467.2	467.2	US\$/kg	4.75	4.75	4.75	728.18	2 219.20	2 219.20

Continuación...

Concepto	Unidad	Cantidad			Unidad	Precio unitario			Valor anual (US\$)			
		A	B	C		A	B	C	A	B	C	
4c. Tratamiento de lodos												
- Floculante para el tratamiento primario	Kg/año	31	1 095	1 095	US\$/kg	4.75	4.75	4.75	147.37	5 201.25	5 201.25	
- Floculante para el tratamiento secundario	Kg/año	529.3	1 277.5	2 350.6	US\$/kg	4.75	4.75	4.75	2 513.94	6 068.13	11 165.35	
Subtotal									8 228.37	105 090.01	110 187.23	
5. Disposición de lodos												
5a. Tratamiento Primario	Ton/año	31	1095.0	1095.0	US\$/ton	10.61	10.61	10.61	329.05	1 1613.14	11 613.64	
5b. Tratamiento Secundario	Ton/año	529.3	1277.5	2350.6	US\$/ton	10.61	10.61	10.61	5 613.26	1 3549.24	24 930.61	
Subtotal									5 942.31	2 5162.38	36 544.25	
6. Misceláneo												
5a. Indumentaria	Global	1	1	1	US\$/año	373.88	560.82	560.82	373.88	560.82	560.82	
5b. Materiales (implementos de limpieza)	Global	1	1	1	US\$/año	361.61	361.61	361.61	361.61	361.6	36 1.61	
5c. Laboratorio (kits de análisis)	Global	1	1	1	US\$/año	1842.69	2639.6	2639.6	1 842.69	2 639.6	2 639.61	
Subtotal									2 578.18	3 562.04	3 562.04	
Total (US\$)									51 057.90	205 988.63	21 9003.90	
Agua tratada al año (m³/año)									38 325.0	116 800.0	116 800.0	
Precio por m³ de agua tratada (US\$/m³)									1.33	1.76	1.88	

A: Antes de la ampliación; B: Ampliación; C: simulación ampliación con lodos activados; (*): No adicionado al proceso.

FUENTE: Elaboración propia

El costo anual de tratamiento para agua para la PTARI antes de la ampliación era de US\$ 51 057.90, considerando un volumen anual de agua tratada de 38 325 m³; mientras que el costo anual de tratamiento de agua para la PTARI en ampliación asciende a US\$ 205 988.63, considerando un volumen anual de agua tratada de 116 800 m³, y la simulación de ampliación manteniendo el sistema de lodos activados ascendería a US\$ 219 003.90, frente a 116 800 m³.

A pesar que el incremento de caudal de agua residual industrial a tratar de la ampliación a comparación con la etapa anterior es de 2.04 veces más, el costo de operación anual de la ampliación es 4.03 veces con respecto a la PTARI antes de la ampliación. La diferencia reside básicamente en el consumo de energía requerida para oxidar la materia orgánica hasta lo requerido por los VMA, el costo de energía solo para el sistema biológico incrementa en 1.7 veces.

El precio por m³ de agua tratada para la PTARI antes de la ampliación era de US\$ 1.33, mientras que el costo anual de tratamiento de agua para la PTARI en ampliación asciende a US\$ 1.76, y la simulación de ampliación manteniendo el sistema de lodos activados ascendería a US\$ 1.88.

En el costo de operación de la PTARI, el costo anual de los químicos para tratamiento de agua y lodo juega un papel muy importante, para la PTARI antes de la ampliación el valor de esta categoría asciende a solo US\$ 8 228.37, frente a los US\$ 105 090.01 requeridos por la PTARI en ampliación y los US\$ 110 187.23 de la simulación de ampliación bajo el supuesto de mantener el sistema de lodos activados.

En términos generales el impacto del costo de personal al precio anual de tratamiento de agua, a modo de comparación de la diferencia entre la PTARI antes y en ampliación, es mínimo y se debe a que en la ampliación se requiere de un operario adicional básicamente para que prepare los químicos que se usan en el tratamiento de agua, asegurarse que siempre haya químicos disponibles para que los equipos trabajen de forma automática y el proceso no sea detenido; así como también el operador adicional se encargará de apoyar en el retiro de los lodos deshidratados ya que la generación de lodos por todo el sistema

de tratamiento se incrementa en alrededor de 3.2 veces, es decir, de generarse 560.33 ton/año ahora se generan en promedio 2 372 ton/año. Cabe indicar además que ambas PTARI tienen un alto grado de automatización lo cual disminuye la mano de obra requerida.

El costo mantenimiento si se compara de forma global bajo los tres escenarios (antes de ampliación, ampliación con MBBR y supuesto de ampliación con lodos activados), no tiene mayor impacto, es decir se han obtenido valores muy similares.

Con respecto al costo de operación debido al consumo de químicos, este se ve elevado principalmente por el sistema de tratamiento primario, ya que en la etapa previa a la ampliación no se añadía ningún tipo de químicos, ya que solo se buscaba remoción de AyG y una pequeña parte de SST, todo ello a través de un proceso físico por flotación; mientras que en la ampliación se trata el agua mediante coagulación, floculación y flotación, requiriéndose de coagulante (PAC), neutralizante (soda cáustica) y floculante (polímero).

V. CONCLUSIONES

- El efluente industrial antes de la ampliación de la empresa Golosinas y Chocolates PERÚ S.A., presentó un caudal de 105 m³/día y una calidad de agua de DQO 7200 mg/L, 2039 mg/L, 651 mg/L y 64 mg/L para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG respectivamente.
- El efluente industrial de la ampliación de la empresa Golosinas y Chocolates PERÚ S.A., presentó un caudal de 320 m³/día y una calidad de agua de 11 164 mg/L, 7186 mg/L, 2 555 mg/L y 73 mg/L para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG respectivamente.
- El efluente industrial de la ampliación en comparación con el de la etapa anterior, lo supera en 204 por ciento veces más en caudal, 55 por ciento en DQO, 252 por ciento en DBO₅, 292.5 por ciento en SST y 14 por ciento en AyG. Estas variaciones tanto en calidad como en caudal de agua se atribuyen a las nuevas líneas de producción y nuevos productos desarrollados en la ampliación (galletas, gomitas, bizcochos, wafers, otros) los cuales presentan un contenido variable de azúcar (sacarosa, glucosa), harina, aceite, restos de fruta, manteca de palma, colorantes, entre otros, dando una configuración diferente al efluente de la ampliación.
- Los valores de los parámetros de diseño utilizados por la empresa diseñadora de las PTARI antes y en ampliación, fueron evaluados y comparados con lo indicado por diferentes autores en el campo de tratamiento de aguas, todos los parámetros se encontraron acorde a la bibliografía consultada.

- La PTARI de ampliación a diferencia de la etapa previa, se diferencia en el pre-tratamiento debido a la adición de la unidad tanque ecualizador; en el tratamiento primario debido a la adición de procesos de coagulación y floculación; en el tratamiento secundario debido al cambio de reactor tipo lodos activados por dos reactores MBBR en serie. El sistema de tratamiento de lodos se mantiene para ambas PTARI, lo único que cambia son las horas de operación (trabajo) diaria.
- El área requerida por la PTARI ampliación es de 172.98 m², 100 por ciento mayor a los 86.49 m² ocupados por el PTARI anterior. Sin embargo, si se hubiera mantenido el sistema biológico convencional el área fuese 401 m², es decir, 4.6 veces más que el área inicial.
- La calidad de agua tratada tanto en la etapa previa a la ampliación como en la ampliación, cumple con lo requerido por la legislación ambiental aplicable, Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado sanitario según D.S N° 001-2015-VIVIENDA obteniendo eficiencias obtenidas en la PTARI antes de la ampliación de 95.6, 94.79, 92.53 y 97.83 por ciento; mientras que para la PTARI en ampliación, 96.79, 97.03, 97.61 y 96.35 para los parámetros DQO, DBO₅, SST y AyG, respectivamente.
- La generación de lodos de los sistemas biológicos para la PTARI en ampliación es de 6 298.64 kg/día, equivalente a 5.8 veces lo producido por la PTARI anterior ascendiente a 927.5 kg/día, ello debido a mayor ingreso actual de carga contaminante en el agua residual industrial.
- Si se hubiese mantenido el sistema biológico tipo lodos activados en la ampliación, bajo las condiciones de la ampliación en términos de pre-tratamiento y tratamiento primario, en promedio se hubiese producido aproximadamente 31.72 m³/día de lodo en exceso (solo por aporte del sistema biológico), en consecuencia manteniendo el sistema biológico anterior se tendría mucho mayor generación de lodos frente a los 17.07 m³/día generados por el sistema MBBR, es decir una generación de 85.8 por

ciento más producción de lodo biológico, lo cual se traduce en un mayor costo de operación en términos de disposición de lodos.

- El precio por m³ de agua tratada para la PTARI antes de la ampliación era de US\$ 1.33, mientras que el costo anual de tratamiento de agua para la PTARI en ampliación asciende a US\$ 1.76, y la simulación de ampliación manteniendo el sistema de lodos activados ascendería a US\$ 1.88.

VI. RECOMENDACIONES

- Para futuros estudios se recomienda la aplicación de productos químicos alternativos de menor costo en el mercado, a fin de disminuir el costo de operación por m³ de agua tratada.
- Evaluar hasta qué capacidades máximas tanto en caudal como en carga contaminante del agua cruda, el sistema biológico MBBR puede mantener la calidad de agua tratada requerida según los Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al alcantarillado sanitario.
- Evaluar manejar los sistemas de aireación (sopladores) de manera intercalada a fin de disminuir el consumo de energía, sin perjudicar la eficiencia del tratamiento biológico MBBR.
- Se recomienda la prueba piloto o a escala laboratorio de este tipo de sistemas (MBBR) para aplicaciones en empresas del mismo rubro.
- Se recomienda la prueba piloto o a escala laboratorio de otro tipo de *carrier* (soporte) para la calidad de agua cruda del presente estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADABAJU, S. (2013). *Specific Moving Bed Biofilm Reactor For Organic Removal from Synthetic Municipal Wastewater*. Tesis Mgsc. Ingeniería. Universidad de Tecnología (UTS). Sydney. 130 p.
- AYGUN, A.; NAS, B.; BERCTAY, A. (2007). *Influent of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor*. Department of environmental engineering. Selcuk University.
- BENGTON, H. (2010). *MBBR Wastewater Treatment Processes*. A SunCam online continuing education course. Florida. 48 p. Consultado el 09 de setiembre de 2017. Disponible en:
https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_c2.pdf
- DIARIO GESTIÓN, ed. 13 de mayo de 2015. Consultado el 03 de setiembre de 2017. Disponible en:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0883/Libro.pdf
- GIVENS, S. y CABLE, J. (1988). *Case study- A tale of two industries, pretreatment of confectionary and bakery wastewaters*. Food Processing Waste Conference, presented by the Georgia Tech Research Institute. Atlanta. Georgia. Octubre 31-Noviembre 2, 1988.
- GUERRERO, L. y ALKALAY, D. (1996). Tratamiento de residuos líquidos de una fábrica de galletas. AIDIS. Consolidación para el desarrollo. México, D.F, AIDIS, p.1-7 (t3).
- HENDRICKS, DW. (2011). *Fundamentals of water treatment unit processes: physical, chemical, and biological*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- INDECOPI. 2012. Norma Técnica Peruana (NTP) – ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.

- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2010. Clasificación Industrial Internacional Uniforme. De todas las actividades económicas revisión 4. 267 p. Consultado el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0883/Libro.pdf
- KEMPER, K.; YEPES, G.; GARN, M. (1994). Personnel Costs as an Indicator for W&S Utility. Performance in Developing Countries. The World Bank: Transportation, Water and Urban Development Department, Infrastructure Note WS-12, Washington DC. 5 p.
- METCALF & EDDY. (1995). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc Graw Hill. España. 1485 p.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2012. Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno. Consultados el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuario-estadistico>.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2013. Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno. Consultados el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuario-estadistico>.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2014. Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno. Consultados el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuario-estadistico>.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2015. Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno. Consultados el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuario-estadistico>.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. (s.f.). Descripción del subsector elaboración de cacao y chocolates y de productos de confitería. 11 p. Consultado el 03 de setiembre de 2017. Disponible en:
 - <http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/2/jer/SECTPERFMAN/1543.pdf>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2015). Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA. Se modifican diversos artículos del D.S. N° 021-2009 VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no doméstica en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado mediante Decreto

- Supremo N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el Decreto Supremo N° 010-2012 VIVIENDA. Diario el Peruano, Lima, PE, ene. 10. Pág. 544502-544510.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2009). Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Diario el Peruano, Lima, PE, nov. 20. Pág. 406305-406307.
 - MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2012). Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Modifican D.S. 003-2011-VIVIENDA que aprobó el Reglamento del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA con la finalidad de establecer procedimientos para controlar descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Diario el Peruano, Lima, PE, mar. 04. Pág. 462007-462009.
 - MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2012). Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA. Reglamento del D.S. N°021-2009 - VIVIENDA, que aprueba los Valores Máximo Admisibles de descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario. Diario el Peruano, Lima, PE, may. 22. Pág. 443045-443053.
 - MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2012). Decreto Supremo N° 116-2012-VIVIENDA. Aprueba los parámetros para las actividades que según la CIU serán de cumplimiento obligatorio por parte de los usuarios no domésticos, en aplicación del Decreto Supremo N°021-2009-Vivienda y su reglamento, aprobado con D. S. N° 003-2011-Vivienda. Diario el Peruano, Lima, PE, jun. 19. Pág. 488649.
 - MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima. 434 p.
 - NEU, K. (2012). EHS Smart-Treat. Moving bed biofilm reactor (MBBR) system component manual. Minnesota. 68 p.
 - NIJHUIS WATER TECHNOLOGY. (2017). Confectionery plant case of study.4 p. Consultado el 03 de setiembre de 2017. Disponible en: http://www.nijhuisindustries.com/resources/uploads/bestanden/Documents/Case-Study-Mars-Dubai_DIGITAL.pdf

- ØDEGAARD, H. (1999). The Moving Bed Biofilm Reactor. Water Environmental Engineering and Reuse of Water. Hokkaido Press. p. 250-305.
- RAMALHO, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverte. Barcelona, España. 716 p.
- RASSU, H. (1984). Temperature effects on extended aeration activated sludge process. Tampere University of Technology. Tampere. 134 p.
- ROCHA, S. (2013). Análisis de diagnóstico tecnológico sectorial. Cacao, chocolates y confituras. 39 p. Consultados el 03 de setiembre de 2017. Disponible en:
<http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/043/0000043783.pdf>
- ROMERO, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. 3ra Edición. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá. 1248 p.
- ROSS, C.; SMITH, B.; VALENTINE, G. (2000). Rethinking dissolved air flotation (DAF) design for industrial pretreatment. In Proceedings of 2000 WEF and Purdue University Industrial Wastes Technical Conference; St. Louis, MO, USA. Water Environment Federation: Alexandria, VA, USA. 2000. p. 43-56.
- SPERLING, M. (2007). Activated sludge and aerobic biofilm reactors. Biological Wastewater Treatment Series. v.5. IWA Publishing. London. 322 p.
- SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. (2011). Resolución del Consejo Directivo N°025-2011-SUNASS-CD. Aprueba metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo 1 del DS. N°021-2009 VIVIENDA y modifica el Reglamento General de tarifas, así como el Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento. Diario el Peruano, Lima, PE, jul. 20. Pág. 446831-446833.
- SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. (2012). Resolución del Consejo Directivo N°044-2012-SUNASS-CD. Aprueban Directiva sobre Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y modifican el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento. Diario el Peruano, Lima, PE, ene. 10. Pág. 485884-485896.

- VAN HANDEL, A.C., VAN DER LUBBE, J.G.M. (2012). Handbook of biological wastewater treatment. Design and optimization of activated sludge system. 2da Ed. IWA Publishing. Londres. 770 pp.
- WAHL, T. 2003. Design guide for coanda-effect screens. U.S. Department of the interior. Denver, Colorado. 44 p.
- WEF, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 4th ed., Water and Environment Federation, MOP, ED-ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 76, WEF, Alexandria.VA.USA.1998.
- WENDLAND, A. 2005. Operation costs of wastewater treatment plants. Emwater e-learning course, lesson C2: Operation and maintenance/operation costs. Consultado el 09 de setiembre de 2017. Disponible en: https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_c2.pdf
- WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. (2010). Advanced Activated Sludge Study Guide. Madison, EE.UU. 30 p. Consultado el 09 de setiembre de 2017. Disponible en:
- https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_c2.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de laboratorio muestreo de efluente residual simulación de ampliación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE 003

INFORME DE ENSAYO

Pág. 1/3

Solicitante : ██████████
 Domicilio Legal : ██████████
 Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**
 Lugar de Muestreo : ██████████
 Fecha de Muestreo : 2014 - 04 - 12,13
 Método (s) de Muestreo : NTP-ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
 Acta de Inspección : ██████████
 Cantidad de muestra para ensayo : 04 muestras compuestas, 08 muestras puntuales x 32 L. aprox.
 Forma de presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados preservados y refrigerados.
 Identificación de la muestra : **P-1 DESAGUE FINAL**
 Fecha de recepción : 2014 - 04 - 14
 Fecha de inicio del ensayo : 2014 - 04 - 14
 Fecha de término del ensayo : 2014 - 04 - 21
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental
 Identificada con : ██████████
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
P-1 DESAGUE FINAL	████████	████████

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 12/04/2014 TOMA I 10:40	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 12/04/2014 TOMA II 19:40	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 13/04/2014 TOMA III 01:40	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 13/04/2014 TOMA IV 07:40
Aceites y grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	19,0	59,0	81,9	70,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	5 415	8 565	6 750	6 915
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	11 990	12 512	10 771	12 164
Fosfatos (mg/L) (LD: 0,006 mg/L)	3,37	1,24	1,61	1,26
Nitrógeno amoniacal (mg/L) (LD: 0,02 mg/L)	0,417	0,093	0,082	0,688
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	2 226	618	1 026	644
Sólidos disueltos totales (mg/L) (LD: 2,50 mg/L)	2 293	645	521	531
Sulfatos (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	178	200	243	228

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 12/04/2014 TOMA 1 10:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 12/04/2014 TOMA 2 13:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 12/04/2014 TOMA 3 16:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 12/04/2014 TOMA 4 19:40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	1 395	15 300	4 800	14 730
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	9 328	26 182	7 711	22 948

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 12/04/2014 TOMA 5 22:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 13/04/2014 TOMA 6 01:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 13/04/2014 TOMA 7 04:40	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 13/04/2014 TOMA 8 07:40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	4 200	1 805	5 430	4 815
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	7 040	2 562	6 841	6 393

LD: Límite de detección



CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000 F: (511) 420 4128
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Cívico
Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161
info@cerper.com - www.cerper.com

FUENTE: Laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

INFORME DE ENSAYO N° [REDACTED]

Pág. 1/2

Solicitante : [REDACTED]
 Domicilio Legal : [REDACTED]
 Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**
 Lugar de Muestreo : [REDACTED]
 Fecha de Muestreo : 2014 - 04 - 14,15
 Método (s) de Muestreo : NTP-ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
 Acta de Inspección : [REDACTED]
 Cantidad de muestra para ensayo : 04 muestras compuestas, 08 muestras puntuales x 32 L. aprox.
 Forma de presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados preservados y refrigerados.
 Identificación de la muestra : **P-1 DESAGUE FINAL**
 Fecha de recepción : 2014 - 04 - 14
 Fecha de inicio del ensayo : 2014 - 04 - 14
 Fecha de término del ensayo : 2014 - 04 - 22
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental
 Identificada con : [REDACTED]
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
P-1 DESAGUE FINAL	[REDACTED]	[REDACTED]

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 14/04/2014 TOMA I 13:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 14/04/2014 TOMA II 19:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 15/04/2014 TOMA III 01:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 15/04/2014 TOMA IV 07:00
Aceites y grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	96,8	83,7	147	54,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	5 535	4 665	4 335	11 730
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	7 214	5 100	6 343	16 169
Fosfatos (mg/L) (LD: 0,006 mg/L)	94,2	2,54	2,42	4,95
Nitrógeno amoniacal (mg/L) (LD: 0,02 mg/L)	0,134	0,112	0,047	2,37
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	833	1 258	1 744	6 348
Sólidos disueltos totales (mg/L) (LD: 2,50 mg/L)	497	442	417	618
Sulfatos (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	175	156	127	191

LD: Limite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 14/04/2014 TOMA 1 10:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 14/04/2014 TOMA 2 13:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 14/04/2014 TOMA 3 16:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 14/04/2014 TOMA 4 19:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	4 200	5 550	6 150	4 665
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	6 343	7 687	10 721	8 134

LD: Limite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 14/04/2014 TOMA 5 22:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 6 01:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 7 04:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 8 07:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	2 700	8 115	15 630	4 950
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	3 507	11 418	30 162	14 652

LD: Limite de detección



CALLAO
Oficina Principal
Avenida Rosa 601, La Perla - Callao
T. (51) 319 9000 F: (511) 420 4128
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Civico
Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161
info@cerper.com - www.cerper.com

FUENTE: Laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

INFORME DE ENSAYO [REDACTED]

Pág. 1/3

Solicitante : [REDACTED]
 Domicilio Legal : [REDACTED]
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Lugar de Muestreo : [REDACTED]
 Fecha de Muestreo : 2014 - 04 - 15,16
 Método (s) de Muestreo : NTP-ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
 Acta de Inspección : [REDACTED]
 Cantidad de muestra para ensayo : 04 muestras compuestas, 08 muestras puntuales x 32 L. aprox.
 Forma de presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados preservados y refrigerados.
 Identificación de la muestra : P-1 DESAGUE FINAL
 Fecha de recepción : 2014 - 04 - 15
 Fecha de inicio del ensayo : 2014 - 04 - 15
 Fecha de término del ensayo : 2014 - 04 - 22
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental
 Identificada con : [REDACTED]
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
P-1 DESAGUE FINAL	[REDACTED]	[REDACTED]

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 15/04/2014 TOMA I 13:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 15/04/2014 TOMA II 19:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 16/04/2014 TOMA III 01:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 16/04/2014 TOMA IV 07:00
Aceites y grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	34,0	41,3	59,3	61,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	6 015	5 415	5 565	8 565
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	10 547	6 144	8 383	20 050
Fosfatos (mg/L) (LD: 0,006 mg/L)	< 0,006	10,1	2,78	6,09
Nitrógeno amoniacal (mg/L) (LD: 0,02 mg/L)	0,124	0,063	0,049	1,14
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	1 214	627	1 029	2 461
Sólidos disueltos totales (mg/L) (LD: 2,50 mg/L)	494	487	463	609
Sulfatos (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	171	200	161	192

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 1 19:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 2 13:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 3 16:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 4 19:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	6 000	3 100	3 475	3 155
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	8 562	5 199	6 045	4 104

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 15/04/2014 TOMA 5 22:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 6 01:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 7 04:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 8 07:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	2 512	6 615	5 565	6 915
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	3 050	8 980	16 408	10 124

LD: Límite de detección



CALLAO
Calle Principal
Calle 601, La Perla - Callao
T. (051) 319 9000 F: (511) 420 4128
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Cívico
Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161
info@cerper.com - www.cerper.com

FUENTE: Laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

INFORME DE ENSAYO N° [REDACTED]

Pág. 1/3

Solicitante : [REDACTED]
 Domicilio Legal : [REDACTED]
 Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**
 Lugar de Muestreo : [REDACTED]
 Fecha de Muestreo : 2014 - 04 - 16,17
 Método (s) de Muestreo : NTP-ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
 Acta de Inspección : [REDACTED]
 Cantidad de muestra para ensayo : 04 muestras compuestas, 08 muestras puntuales x 32 L. aprox.
 Forma de presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados preservados y refrigerados.
 Identificación de la muestra : **P-1 DESAGUE FINAL**
 Fecha de recepción : 2014 - 04 - 14
 Fecha de inicio del ensayo : 2014 - 04 - 14
 Fecha de término del ensayo : 2014 - 04 - 22
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental
 Identificada con : [REDACTED]
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
P-1 DESAGUE FINAL	[REDACTED]	[REDACTED]

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 16/04/2014 TOMA I 13:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 16/04/2014 TOMA II 19:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 17/04/2014 TOMA III 01:00	P-1 - MUESTRA COMPUESTA FECHA: 17/04/2014 TOMA IV 07:00
Aceites y grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	34,9	22,1	31,9	24,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	4 800	7 065	6 592	13 530
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	6 020	8 035	10 365	16 866
Fosfatos (mg/L) (LD: 0,006 mg/L)	5,21	7,05	0,619	13,9
Nitrógeno amoniacal (mg/L) (LD: 0,02 mg/L)	0,221	0,072	1,12	0,199
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	850	787	2 291	1 645
Sólidos disueltos totales (mg/L) (LD: 2,50 mg/L)	567	640	683	3 288
Sulfatos (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	201	223	174	176

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 1 10:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 2 13:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 3 16:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 4 19:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	2 450	2 250	3 200	2 705
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	3 557	3 507	4 204	4 303

LD: Límite de detección

Ensayos	Muestras / Resultados			
	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 16/04/2014 TOMA 5 22:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 17/04/2014 TOMA 6 01:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 17/04/2014 TOMA 7 04:00	P-1 MUESTRA PUNTUAL FECHA: 17/04/2014 TOMA 8 07:00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	7 050	1 305	1 505	2 455
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /L) (LD: 10,0 (mgO ₂ /L))	10 821	7 239	37 376	6 592

LD: Límite de detección



CALLAO
 Oficina Principal
 Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (51) 319 9000 F: (511) 420 4128
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Civico
 Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
 info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161
 info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN INFRACCIÓN DEL D.L. N° 1115 POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

FUENTE: Laboratorio CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

Anexo 2: Costos de operación por categorías antes de ampliación

a. Energía

Principal equipamiento	Potencia [kW]	Cantidad	Potencia total instalada [kW]	Operativo [kW]	Hrs/día	Potencia consumida [kW]	Consumido (kW/día)	% Consumido/ Total
Pre-Tratamiento								
Bomba de alimentación a la Reja Curva	1.3	1	1.30	1.3	20	1.0	20.8	3.0
Sub total	1.3	1.0	1.3	1.3	20.0	1.0	20.8	3.0
Tratamiento Primario								
Unidad de Flotación- Raspador de lodos	0.18	1.00	0.18	0.18	10.00	0.14	1.44	0.21
Unidad de Flotación- Bomba de	4.00	1.00	4.00	4.00	20.00	3.20	64.00	9.38
Sub total	4.2	2.0	4.2	4.2	30.0	3.3	65.4	9.6
Tratamiento Secundario: Biológico MBBR y DAF Clarificador								
Bomba dosificadora de fósforo	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.06
Bomba dosificadora de nitrógeno	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.06
Aireador	30.00	1.00	30.00	30.00	16.00	24.00	384.00	56.25
Mezclador en reactor biológico	2.20	1.00	2.20	2.20	8.00	1.76	14.08	2.06
Bomba de alimentación de reactor lodos	3.00	1.00	3.00	3.00	20.00	2.40	48.00	7.03
Bomba dosificadora de floculante	0.37	1.00	0.37	0.37	20.00	0.30	5.92	0.87
Unidad de flotación (DAF clarificador) -	0.18	2.00	0.36	0.36	10.00	0.29	2.88	0.42
Unidad de flotación (DAF clarificador) -	5.50	1.00	5.50	5.50	20.00	4.40	88.00	12.89
Sub total	41.3	9.0	41.5	41.5	134.0	33.2	543.6	79.6
Tratamiento de lodos: Deshidratación								
Mezclador en tanque de lodos	0.55	1.00	0.55	0.55	8.00	0.44	3.52	0.52
Bomba de alimentación de lodo a la	1.10	1.00	1.10	1.10	7.00	0.88	6.16	0.90
Estación preparadora de floculante	0.55	1.00	0.55	0.55	3.00	0.44	1.32	0.19
Bomba dosificadora de floculante	0.37	1.00	0.37	0.37	7.00	0.30	2.07	0.30
Deshidratador de lodos	10.80	1.00	10.80	10.80	7.00	8.64	60.48	8.86
Sub total	13.4	5.0	13.4	13.4	32.0	10.7	73.6	10.8
TOTAL	58.8	16.0	59.0	59.0			683	100

Precio de la energía \$/kW.h	0.07
Producción total días/año	365
Agua residual total por día m ³ /d	320
Agua residual total por día m ³ /año	116800

Pre-tratamiento - Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.004
Tratamiento primario- Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.013
Tratamiento secundario- Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.110
Tratamiento de lodos - Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.013
Costo total de energía \$/m ³	\$ 0.141
Costo anual de la energía \$/año	\$ 16,473.97

FUENTE: Elaboración propia.

b. Químicos

Tratamiento secundario	Concentración	Dosis (mg/L)	Agua tratada (m ³ /día)	[Kg/día]	Precio [\$/kg]	días/año	Costo Anual
Neutralizante (hidróxido de sodio)	50%	50	105	11	0.43	365	\$1,647.98
Fósforo (ácido fosfónico)	85%	42	105	5	0.41	365	\$776.42
Nitrógeno (urea agrícola)	46.0%	138	105	31.50	0.21	365	\$2,414.48
Floculante- Unidad de flotación 01	100%	4	105	0.42	4.75	365	\$728.18
Tratamiento de lodos							
	Concentración	g/kg	kg/día	[Kg/día]**	Precio [\$/kg]	días/año	Costo Anual
Floculante - lodo exceso	100%	5	290	1.45	4.75	365	\$2,513.94
Floculante (SST y A&G)	100%	5	17	0.09	4.75	365	\$147.37
TOTAL							\$8,228.35
Agua residual total en m ³ /año							38325
Costo de químicos por m ³ de agua tratada (\$/m ³)							50.2147

FUENTE: Elaboración propia.

c. Mantenimiento

Etapa	Equipos e Instrumentos	Descripción	Año										Ponderación Anual	Q.	Precio Unit.	Costo				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
PRE-TRATAMIENTO	Bomba de alimentación a Reja Curva	Bomba sumergible																		
	- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe								x					1/6	0.17	1	\$ 873.60	\$ 145.60	
	- Cambio de aceite	Cada 7,000 h operación o anual	x	x		x	x	x	x	x	x	x		10/10	1.00	1	\$ 80.00	\$ 80.00		
	- Rodamientos sup/inf	Cada 30,000 h operación o cada 5 años								x				2/10	0.20	1	\$ 215.60	\$ 43.12		
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años								x				2/10	0.20	1	\$ 580.20	\$ 116.04		
	Control de nivel	Elemento sensible de presión hidrostática								x				2/10	0.20	1	\$ 1,147.50	\$ 229.50		
	Reja Curva	Autolimpiante																		
	- Válvula solenoi de control agua	Desgaste de válvula												1/7	0.14	1	\$ 113.10	\$ 16.16		
TRATAMIENTO PRIMARIO	Unidad de Flotación	DAF																		
	Raspador de lodo flotado	Tipo superficial																		
	- Lengüetas	Caucho o similar												2/8	0.25	1	\$ 322.10	\$ 80.53		
	- Motorreductor	Cambio de aceite 10,000 h o cada dos años	x											5/10	0.50	1	\$ 60.00	\$ 30.00		
	Válvula de drenaje de arenas/lodos	Tipo neumática																		
	- Actuador	Pérdida de la cap. de resortes o fugas de aire												1/6	0.17	5	\$ 414.60	\$ 345.50		
	- Solenoide	Cambio por corto eléctrico de solenoide												2/10	0.20	5	\$ 193.30	\$ 193.30		
	Sistema de aireación	Tanque saturador																		
	- Conectores y mangueras	Fugas y ruptura por vibración													2/10	0.20	1	\$ 1,361.00	\$ 272.20	
	Sistema de recirculación	Bomba centrífuga																		
	- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe													1/10	0.10	1	\$ 873.60	\$ 87.36	
	- Sensor de presión	Cambio por corto eléctrico													2/10	0.20	1	\$ 1,407.20	\$ 281.44	
	Panel de control neumático	Rotámetro+ FRP																		
	- Filtro regulador de presión	Cambio por fuga													2/10	0.20	1	\$ 120.00	\$ 24.00	
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Bomba dosificadora de neutralizante	Tipo diafragma																		
	- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls	Cada 8,000 horas ó 2 años	x											5/10	0.50	1	\$ 316.80	\$ 158.40		
	Bomba dosificadora de fósforo	Tipo diafragma																		
	- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls	Cada 8,000 horas ó 2 años	x											5/10	0.50	1	\$ 316.80	\$ 158.40		
	Bomba dosificadora de nitrógeno	Tipo diafragma																		
	- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls	Cada 8,000 horas ó 2 años	x											5/10	0.50	1	\$ 316.80	\$ 158.40		
	Aireador	Superficial - Vertical																		
	- Motor	Cambio de motor fin de la vida útil													2/10	0.20	1	\$ 89.70	\$ 17.94	
	Mezclador en tanque equalizador	Mixer sumergible																		
	- Cambio de aceite	4,000 horas o 1 año	x	x										10/10	1.00	1	\$ 60.00	\$ 60.00		
	Control de nivel	Elemento sensible de presión hidrostática													1/10	0.10	1	\$ 2,450.00	\$ 245.00	
	Controlador PID y sensor sensor de O2	Sensor óptico																		
	- Sensor óptico	Cambio de instrumentos, fin de la vida util													2/10	0.20	1	\$ 2,508.84	\$ 501.77	
	Bomba de alim. de reactor lodos activ. a DAF	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo													2/10	0.20	1	\$ 650.00	\$ 130.00	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años													2/10	0.20	1	\$ 250.00	\$ 50.00	
	Bomba dosificadora de floculante	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo													1/10	0.10	1	\$ 550.00	\$ 55.00	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años													1/10	0.10	1	\$ 410.04	\$ 41.00	
	Unidad de flotación (DAF clarificador)	DAF																		
	Raspador de lodo flotado	Tipo superficial																		
	- Lengüetas	Caucho o similar													2/8	0.25	1	\$ 322.10	\$ 80.53	
	- Motorreductor	Cambio de aceite 10,000 h o cada dos años	x												5/10	0.50	1	\$ 60.00	\$ 30.00	
Válvula de drenaje de arenas/lodos	Tipo neumática																			
- Actuador	Pérdida de la cap. de resortes o fugas de aire													1/6	0.17	2	\$ 414.60	\$ 138.20		
- Solenoide	Cambio corto eléctrico de solenoide													2/10	0.20	2	\$ 193.30	\$ 77.32		
Sistema de aireación	Tanque saturador																			
- Conectores y mangueras	Fugas y ruptura por vibración													2/10	0.20	1	\$ 1,361.00	\$ 272.20		
Sistema de recirculación	Bomba centrífuga																			
- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe													1/10	0.10	1	\$ 873.60	\$ 87.36		
- Sensor de presión	Cambio por corto eléctrico													2/10	0.20	1	\$ 1,407.20	\$ 281.44		
Panel de control neumático	Rotámetro+ FRP																			
- Filtro regulador de presión	Cambio por fuga													2/10	0.20	1	\$ 120.00	\$ 24.00		
TRATAMIENTO DE LODOS	Control de nivel	Elemento sensible de presión hidrostática												2/10	0.20	1	\$ 1,407.20	\$ 281.44		
	Bomba de aliment.lodo a la decantadora	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo												2/10	0.20	1	\$ 1,372.80	\$ 274.56		
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años												1/7	0.14	1	\$ 410.04	\$ 58.58		
	Estación preparadora de floculante	Dosificador/mezclador																		
	- Mixer	Cambio de equipo													1/10	0.10	1	\$ 1,885.00	\$ 188.50	
	Bomba dosificadora de floculante	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo													2/10	0.20	1	\$ 1,114.80	\$ 222.96	
- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años													1/7	0.14	1	\$ 410.04	\$ 58.58		
Mixer del tanque de lodos	Mixer sumergible																			
- Cambio de aceite	4,000 horas o 1 año	x	x											10/10	1.00	1	\$ 60.00	\$ 60.00		
TOTAL ANUAL																				
Agua trat. (m3/año)																				116,800.00
Mantenimiento \$/m3																				0.0484

FUENTE: Elaboración propia.

d. Personal

Concepto	Perona/día	Remuneración mensual (S/mes)	EPS, SCTR y Vida ley (S/mes)	Costo Personal/mes		Costo anual (\$/año)	Sub-Total Anual (\$/año)
			40%	(S/mes)	(\$/mes)		
Operador Técnico	1	1,500.00	600.00	2,100.00	636.36	7,636.36	7,636.36
Operario	1	850.00	340.00	1,190.00	360.61	4,327.27	4,327.27
Tipo de cambio 3.3						TOTAL	11,963.64

FUENTE: Elaboración propia.

e. Misceláneo

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total
Indumentaria				S/ 1,233.80
Mameluco	Und	4	S/ 50.00	S/ 200.00
Zapato de seguridad	Par	2	S/ 80.00	S/ 160.00
Lentes de seguridad	Und	4	S/ 15.90	S/ 63.60
Orejas	Und	2	S/ 89.90	S/ 179.80
Casco de seguridad	Und	2	S/ 54.90	S/ 109.80
Barbiquejo	Und	4	S/ 1.90	S/ 7.60
Guantes PVC	Par	12	S/ 32.90	S/ 394.80
Guantes multipropósito	Par	48	S/ 1.80	S/ 86.40
Careta facial	Und	2	S/ 15.90	S/ 31.80
Aseo				S/ 1,193.30
Jabón espuma	Litro	12	S/ 37.50	S/ 450.00
Trapeador algodón	Und	3	S/ 29.90	S/ 89.70
Trapeador absorbente (3 und)	Pack	12	S/ 9.90	S/ 118.80
Detergente industrial - 15 kg	kg	3	S/ 58.00	S/ 174.00
Papel toalla - (3 und)	Pack	12	S/ 20.00	S/ 240.00
Alcohol medicinal	Litro	6	S/ 15.00	S/ 90.00
Limpiador de piso y superficies	Litro	1	S/ 30.80	S/ 30.80
Laboratorio				S/ 6,080.89
Viales DQO 200-15,000 mg/L (150 und)	Pack	5	S/ 876.61	S/ 4,383.06
Filtro whatman - (100 und)	Pack	8	S/ 163.80	S/ 1,310.40
Desecante (0.5 kg)	kg	3	S/ 51.64	S/ 154.92
Papel tisú - (Pack: 30 cajas, 100 papeles)	Pack	1	S/ 122.30	S/ 122.30
Solución buffer 4, 7 y 10 (0.5L c/u)	Pack	1	S/ 110.21	S/ 110.21
Tipo de cambio 3.3			TOTAL	S/8,507.99
				\$2,578.18

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 3: Costos de operación por categorías en ampliación

a. Energía

Lista de Equipamiento	Potencia	Cantidad	Potencia total	Operativo [kW]	Hrs/día	Potencia	Consumido	% consumido/
Pre-Tratamiento								
Bomba de alimentación a la Reja Curva	1.8	1	1.80	1.8	12	1.4	17.3	1.0
Mezclador en tanque equalizador	11.2	1	11.19	11.2	24	9.0	214.8	12.2
Sub total	13.0	2.0	13.0	13.0	36.0	10.4	232.1	13.2
Tratamiento Primario								
Bomba dosificadora de coagulante	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.02
Bomba dosificadora de neutralizante	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.02
Bomba dosificadora de floculante	0.37	1.00	0.37	0.37	20.00	0.30	5.92	0.34
Bomba de alimentación de efluente equalizador al	0.80	1.00	0.80	0.80	20.00	0.64	12.80	0.73
Unidad de Flotación- Raspador de lodos	0.18	1.00	0.18	0.18	10.00	0.14	1.44	0.08
Unidad de Flotación- Bomba de recirculación	6.60	1.00	6.60	6.60	20.00	5.28	105.60	6.00
Estación preparadora de floculante	0.55	1.00	0.55	0.55	1.50	0.44	0.66	0.04
Sub total	8.5	7.0	8.5	8.5	111.5	6.8	127.2	7.2
Tratamiento Secundario: Biológico MBBR y DAF Clarificador								
Bomba dosificadora de fósforo	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.02
Bomba dosificadora de nitrógeno	0.02	1.00	0.02	0.02	20.00	0.02	0.38	0.02
Soplador de aire 01	75.00	1.00	75.00	75.00	16.00	60.00	960.00	54.52
Soplador de aire 02	75.00	1.00	75.00	75.00	4.00	60.00	240.00	13.63
Bomba de alimentación de reactor MBBR unidad de flotación (DAF clarificador)	3.00	2.00	6.00	6.00	20.00	4.80	96.00	5.45
Bomba dosificadora de nitrificante a unidad de flotación 01 y 02 (DAF clarificador)	0.37	2.00	0.74	0.74	20.00	0.59	11.84	0.67
Unidad de flotación 01 y 02 (DAF clarificador) - Raspador de lodo flotado	0.18	2.00	0.36	0.36	10.00	0.29	2.88	0.16
Unidad de flotación 01 (DAF clarificador) - Sistema de recirculación	4.00	1.00	4.00	4.00	20.00	3.20	64.00	3.63
Unidad de flotación 02 (DAF clarificador) - Sistema de recirculación	5.50	1.00	5.50	5.50	20.00	4.40	88.00	5.00
Sub total	163.1	12.0	166.6	166.6	150.0	133.3	1463.5	83.1
Tratamiento de lodos: Deshidratación								
Mezclador en tanque de lodos	0.55	1.00	0.55	0.55	20.00	0.44	8.80	0.50
Bomba de alimentación de lodo a la decantadora	1.10	1.00	1.10	1.10	16.00	0.88	14.08	0.80
Estación preparadora de floculante	0.55	1.00	0.55	0.55	10.00	0.44	4.40	0.25
Bomba dosificadora de floculante	0.37	1.00	0.37	0.37	16.00	0.30	4.74	0.27
Deshidratador de lodos	10.80	1.00	10.80	10.80	16.00	8.64	138.24	7.85
Sub total	13.4	5.0	13.4	13.4	78.0	10.7	170.3	9.7
TOTAL	185.0	24.0	188.6	188.6			1761	100

Precio de la energía \$/kW	0.065
Producción total días/año	365
Agua residual total por día m ³ /d	320
Agua residual total por día m ³ /año	116800

Pre-tratamiento - Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.047
Tratamiento primario- Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.026
Tratamiento secundario- Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.297
Tratamiento de lodos - Costo de la energía \$/m ³	\$ 0.030
Costo total de energía \$/m ³	\$ 0.401
Costo anual de la energía \$/año	\$ 46,787.35

FUENTE: Elaboración propia.

b. Personal

Concepto	Peronas/d	Remuneración mensual (\$/mes)	EPS, SCTR y Vida ley (\$/mes)	Costo Personal/mes		Costo Personal Anual (\$/año)	Sub-Total Anual (\$/año)
				(S/mes)	(S/mes)		
Operador Técnico	1	S/1,500.00	S/600.00	S/2,100.00	\$636.36	\$7,636.36	\$7,636.36
Operario	2	S/850.00	S/340.00	S/1,190.00	\$360.61	\$4,327.27	\$8,654.55
Tipo de cambio 3.3						TOTAL	\$16,290.91

FUENTE: Elaboración propia.

c. Mantenimiento

Etapa	Equipos e Instrumentos	Descripción	Año										Ponderación anual	Q.	Precio Unitario	Costo				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
PRE-TRATAMIENTO	Bomba de alimentación a la Reja Curva	Bomba sumergible								x					1/6	0.167	1	\$ -	\$ -	
	- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe								x					10/10	1.000	1	\$ 873.60	\$ 145.60	
	- Cambio de aceite	Cada 7,000 h operación o anual	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2/10	0.200	1	\$ 80.00	\$ 80.00	
	- Rodamientos sup/inf	Cada 30,000 h operación o cada 5 años					x								2/10	0.200	1	\$ 215.60	\$ 43.12	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años					x								2/10	0.200	1	\$ 580.20	\$ 116.04	
	Control de nivel	Elemento sensible de presión hidrostática					x								2/10	0.200	1	\$ 1,147.50	\$ 229.50	
	Reja Curva	Autolimpiante																		
	- Válvula solenoide de control agua	Desgaste válvula y/o corto eléctrico de solenoide				x				x					1/7	0.143	1	\$ -	\$ 113.10	
	Mezclador en tanque equalizador	Mixer sumergible																		
	- Cambio de aceite	4,000 horas o 1 año	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10/10	1.000	1	\$ 60.00	\$ 60.00	
TRATAMIENTO PRIMARIO	Bomba dosificadora de coagulante	Tipo diafragma																		
	- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls	Cada 8,000 horas ó 2 años			x		x		x		x		x		5/10	0.500	1	\$ -	\$ 316.80	
	Bomba dosificadora de neutralizante	Tipo diafragma																		
	- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls	Cada 8,000 horas ó 2 años	x		x		x		x		x		x		5/10	0.500	1	\$ -	\$ 316.80	
	Bomba dosificadora de floculante	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo					x								2/10	0.200	1	\$ 1,114.80	\$ 222.96	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años									x				1/7	0.143	1	\$ 410.04	\$ 58.58	
	Bomba de alimentación del efluente equalizador	Bomba sumergible																		
	- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe									x				1/6	0.167	1	\$ 873.60	\$ 145.60	
	- Rodamientos sup/inf	Cada 30,000 h operación o cada 5 años							x						2/10	0.200	1	\$ 215.60	\$ 43.12	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años									x				2/10	0.200	1	\$ 580.20	\$ 116.04	
	Controlador y sensor de pH	Electrodo																		
	- pH-metro	Cada 2 años		x		x			x		x			x	5/10	0.500	1	\$ 1,428.30	\$ 714.15	
	Unidad de Flotación	DAF																		
	Raspador de lodo flotado	Tipo superficial																		
	- Lengüetas	Caucho o similar					x						x		2/8	0.250	1	\$ 322.10	\$ 80.53	
	- Motorreductor	Cambio de aceite 10,000 h o cada dos años	x		x		x		x		x		x		5/10	0.500	1	\$ 60.00	\$ 30.00	
	Válvula de drenaje de arenas/lodos	Tipo neumática																		
	- Actuador	Perdida de la capacidad de resortes o fugas de aire									x				1/6	0.167	5	\$ 414.60	\$ 345.50	
	- Solenoide	Cambio por corto eléctrico de solenoide									x				2/10	0.200	5	\$ 193.30	\$ 193.30	
	Sistema de aireación	Tanque saturador																		
	- Conectores y mangueras	Fugas y ruptura por vibración							x						2/10	0.200	1	\$ 1,361.00	\$ 272.20	
	Sistema de recirculación	Bomba centrífuga																		
	- Impeler	Ruptura/Desgaste de álabe												x	1/10	0.100	1	\$ 873.60	\$ 87.36	
	- Sensor de presión	Cambio por corto eléctrico							x					x	2/10	0.200	1	\$ 1,407.20	\$ 281.44	
	Panel de control neumático	Rotámetro+ FRP																		
	- Filtro regulador de presión	Cambio por fuga									x				2/10	0.200	1	\$ 120.00	\$ 24.00	
	Estación preparadora de floculante	Dosificador/mezclador																		
	- Mixer	Cambio de equipo, fin de la vida útil													1/10	0.100	1	\$ 1,885.00	\$ 188.50	
	TRATAMIENTO SECUNDARIO	Bomba dosificadora de fósforo	Tipo diafragma																	
- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls		Cada 8,000 horas ó 2 años			x		x		x		x		x		5/10	0.500	1	\$ 316.80	\$ 158.40	
Bomba dosificadora de nitrógeno		Tipo diafragma																		
- Diafragma + Válvula check Succ/Impuls		Cada 8,000 horas ó 2 años			x		x		x		x		x		5/10	0.500	1	\$ 316.80	\$ 158.40	
Soplador de aire		Embolotativo																		
- Filtro de aire		según nivel (consumo)									x				2/10	0.200	2	\$ 89.70	\$ 35.88	
- Aceite		Cada 7,000 h operación o anual	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10/10	1.000	2	\$ 60.00	\$ 120.00	
- Cambio de fajas		Por desgaste									x				2/10	0.200	2	\$ 30.16	\$ 12.06	
Control de nivel		Elemento sensible de presión hidrostática													2/10	0.200	1	\$ 1,147.50	\$ 229.50	
Controlador PID y sensor de O2		Sensor óptico																		
- Sensor óptico		Cambio de instrumentos, fin de la vida util									x				2/10	0.200	1	\$ 2,508.84	\$ 501.77	
Bomba de alimentación de reactor MBBR a unidad		Tipo cavidad progresiva																		
- Impeler + Estator		Pérdida de capacidad de bombeo							x						2/10	0.200	2	\$ 650.00	\$ 260.00	
- Sello mecánico		Cada 30,000 h operación o cada 5 años									x				2/10	0.200	2	\$ 250.00	\$ 100.00	
Bomba dosificadora de floculante		Tipo cavidad progresiva																		
- Impeler + Estator		Pérdida de capacidad de bombeo												x	1/10	0.100	2	\$ 550.00	\$ 110.00	
- Sello mecánico		Cada 30,000 h operación o cada 5 años												x	1/10	0.100	2	\$ 410.04	\$ 82.01	
Unidad de flotación 01 y 02 (DAF Clarificador)		DAF																		
Raspador de lodo flotado		Tipo superficial																		
- Lengüetas		Caucho o similar							x					x	2/8	0.250	2	\$ 322.10	\$ 161.05	
- Motorreductor		Cambio de aceite 10,000 h o cada dos años	x		x		x		x		x		x		5/10	0.500	2	\$ 60.00	\$ 60.00	
Válvula de drenaje de arenas/lodos		Tipo neumática																		
- Actuador		Perdida de la capacidad de resortes o fugas de aire									x				1/6	0.167	3	\$ 414.60	\$ 207.30	
- Solenoide		Cambio por corto eléctrico de solenoide									x				2/10	0.200	3	\$ 193.30	\$ 115.98	
Sistema de aireación		Tanque saturador																		
- Conectores y mangueras		Fugas y ruptura por vibración									x				2/10	0.200	2	\$ 1,361.00	\$ 544.40	
Sistema de recirculación		Bomba centrífuga																		
- Impeler		Ruptura/Desgaste de álabe												x	1/10	0.100	2	\$ 873.60	\$ 174.72	
- Sensor de presión		Cambio por corto eléctrico									x				2/10	0.200	2	\$ 1,407.20	\$ 562.88	
Panel de control neumático		Rotámetro+ FRP																		
- Filtro regulador de presión	Cambio por fuga									x				2/10	0.200	2	\$ 120.00	\$ 48.00		
TRATAMIENTO DE LODOS	Control de nivel	Elemento sensible de presión hidrostática									x			2/10	0.200	1	\$ 1,407.20	\$ 281.44		
	Bomba de alimentación de lodo a la decantadora	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo									x			2/10	0.200	1	\$ 1,372.80	\$ 274.56		
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años											x	1/7	0.143	1	\$ 410.04	\$ 58.58		
	Estación preparadora de floculante	Dosificador/mezclador																		
	- Mixer	Cambio de equipo												x	1/10	0.100	1	\$ 1,885.00	\$ 188.50	
	Bomba dosificadora de floculante	Tipo cavidad progresiva																		
	- Impeler + Estator	Pérdida de capacidad de bombeo									x				2/10	0.200	1	\$ 1,114.80	\$ 222.96	
	- Sello mecánico	Cada 30,000 h operación o cada 5 años												x	1/7	0.143	1	\$ 410.04	\$ 58.58	
	Mixer del tanque de lodos	Mixer sumergible																		
- Cambio de aceite	4,000 horas o 1 año	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10/10	1.000	1	\$ 60.00	\$ 60.00		
TOTAL ANUAL																			\$ 8,597.45	
																			\$ 116,800.00	
																			\$ 0.0736	

FUENTE: Elaboración propia.

d. Misceláneo

Concepto	Unidad	Q.	Precio Unitario	Sub-Total
Indumentaria				S/ 1,850.70
Mameluco	Und	6	S/ 50.00	S/ 300.00
Zapato de seguridad	Par	3	S/ 80.00	S/ 240.00
Lentes de seguridad	Und	6	S/ 15.90	S/ 95.40
Orejas	Und	3	S/ 89.90	S/ 269.70
Casco de seguridad	Und	3	S/ 54.90	S/ 164.70
Barbiquejo	Und	6	S/ 1.90	S/ 11.40
Guantes PVC	Par	18	S/ 32.90	S/ 592.20
Guantes multipropósito	Par	72	S/ 1.80	S/ 129.60
Careta facial	Und	3	S/ 15.90	S/ 47.70
Aseo				S/ 1,193.30
Jabón espuma	Litro	12	S/ 37.50	S/ 450.00
Trapeador algodón	Und	3	S/ 29.90	S/ 89.70
Trapeador absorbente (3 und)	Pack	12	S/ 9.90	S/ 118.80
Detergente industrial - 15 kg	kg	3	S/ 58.00	S/ 174.00
Papel toalla - (3 und)	Pack	12	S/ 20.00	S/ 240.00
Alcohol medicinal	Litro	6	S/ 15.00	S/ 90.00
Limpiador de piso y superficies	Litro	1	S/ 30.80	S/ 30.80
Laboratorio				S/ 8,710.73
Viales DQO 200-15,000 mg/L (150 und)	Pack	8	S/ 876.61	S/ 7,012.90
Filtro whatman - (100 und)	Pack	8	S/ 163.80	S/ 1,310.40
Desecante (0.5 kg)	kg	3	S/ 51.64	S/ 154.92
Papel tisú - (Pack: 30 cajas, 100 papeles/caja)	Pack	1	S/ 122.30	S/ 122.30
Solución buffer 4, 7 y 10 (0.5L c/u)	Pack	1	S/ 110.21	S/ 110.21
Tipo de cambio	3.3		TOTAL	S/ 11,754.73
				\$3,562.04

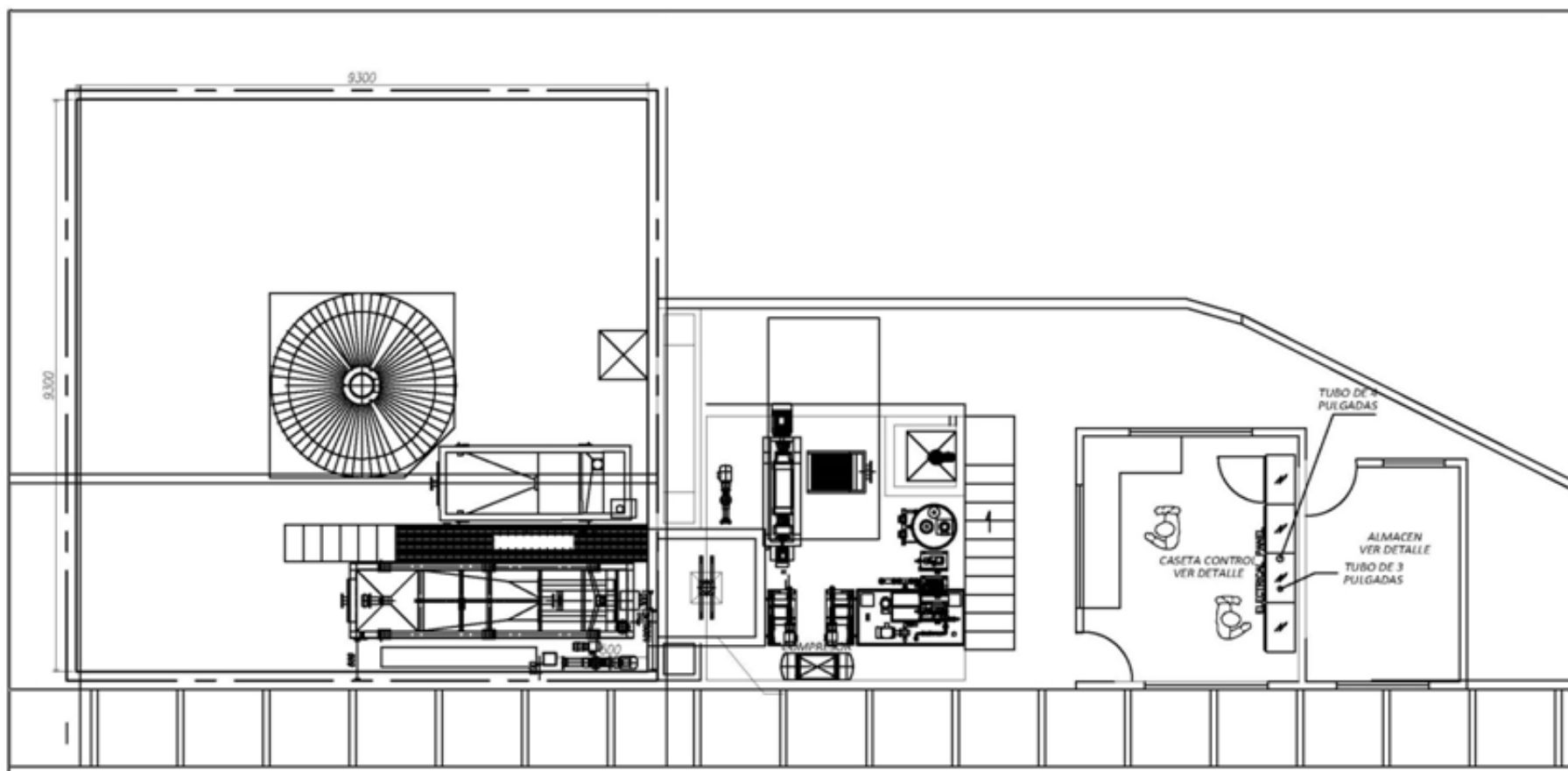
FUENTE: Elaboración propia.

e. Químicos

Tratamiento primario	Concentración	Dosis (mg/l)	Agua tratada (m3/día)	(Kg/día)	Precio (\$/kg)	días/año	Costo Anual
Coagulante (policloruro de aluminio)	50%	300	320	192	0.85	365	\$59,568.00
Neutralizante (hidroxido de sodio)	50%	200	320	128	0.43	365	\$20,089.60
Floculante	100%	4	320	1.28	4.75	365	\$2,219.20
Tratamiento secundario							
	Concentración	mg/L	[m3/día]	(Kg/día)	Precio (\$/kg)	días/año	Costo Anual
Fósforo (ácido fosfórico)	85%	42	320	16	0.41	365	\$2,366.23
Nitrógeno (urea agrícola)	46.0%	138	320	96.00	0.21	365	\$7,358.40
Floculante- Unidad de flotación 01	100%	4	160	0.64	4.75	365	\$1,109.60
Floculante- Unidad de flotación 02	100%	4	160	0.64	4.75	365	\$1,109.60
Tratamiento de lodos							
	Concentración	g/kg	kg/día	(Kg/día)	Precio (\$/kg)	días/año	Costo Anual
Floculante- lodo secundario	100%	5	700	3.50	4.75	365	\$6,068.13
Floculante - lodo primario	100%	5	600	3.00	4.75	365	\$5,201.25
TOTAL							\$99,888.76
Agua residual total en m³/año							116800
Costo de químico por m3 de agua tratada (\$/m3)							\$0.855

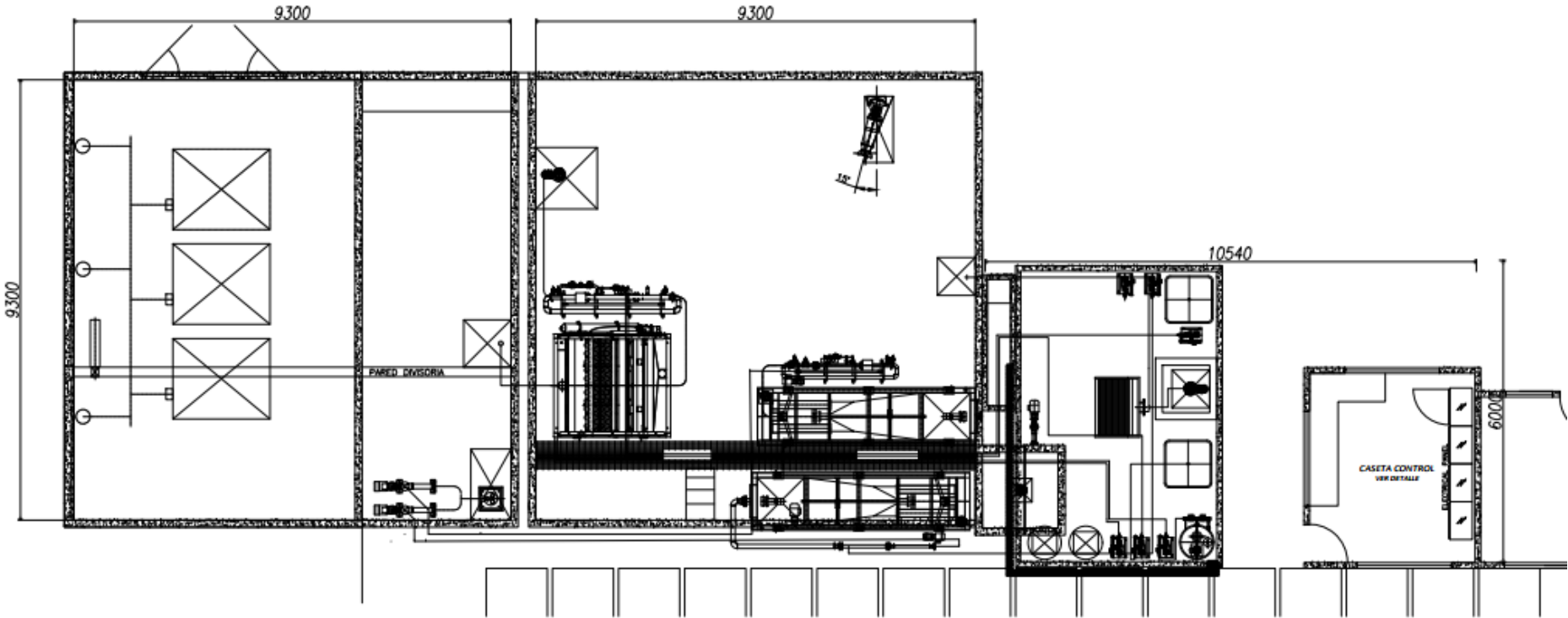
FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 4: Plano de arreglo general PTARI antes de ampliación



FUENTE: SPENA GROUP S.A.C. FUENTE: SPENA GROUP S.A.C.

Anexo 5: Plano de arreglo general PTARI en ampliación



FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 6: PTARI antes de ampliación



FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 7: PTARI en ampliación



a. Carrier (soporte)



b. Malla de aireación

FUENTE: Elaboración propia.