

Trabajo Fin de Máster

“DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA
ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)
COMPACTA EN LA LOCALIDAD DE BÉTERA”

Intensificación: *TRATAMIENTO DE AGUAS*

Autor:

MIGUEL ANTONIO QUIROZ MANTARI

Director:

DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

Codirector/es:

DRA. CARMEN HERNÁNDEZ CRESPO

MAYO, 2016



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 ETAPAS DE TRATAMIENTO	16
1.2 AIREACIÓN PROLONGADA (OXIDACIÓN TOTAL)	20
1.3 PLANTAS COMPACTAS	22
1.4 MARCO LEGISLATIVO	23
2. OBJETIVO	25
3. CARACTERÍSTICAS GENERALES	26
3.1 LOCALIZACIÓN	26
3.2 ACCESIBILIDAD	27
3.3 CLIMATOLOGÍA	28
3.4 POBLACIÓN	28
4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	30
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ANTES DEL PROYECTO	30
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL	42
4.3 ANÁLISIS DE CAUDALES	45
5. MATERIAL Y MÉTODOS	52
5.1 CRONOGRAMA, PUNTOS DE MONITOREOS Y VARIABLES DE MEDICIÓN	52
5.2 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL LABORATORIO	54
5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN: PARÁMETROS A CALCULAR	61
6. RESULTADOS	69
6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO	69
6.1.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	69
6.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS	70
6.1.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN	73
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SEGUNDO MONITOREO	75
6.2.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	75
6.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS	76
6.2.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN	78
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TERCER MONITOREO	80
6.3.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	80
6.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS	81
6.3.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN	83

6.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CUARTO MONITOREO	85
6.4.1	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	85
6.4.2	RESULTADOS OBTENIDOS	86
6.4.3	PROPUESTA DE ACTUACIÓN.....	88
6.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL QUINTO MONITOREO	90
6.5.1	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	90
6.5.2	RESULTADOS OBTENIDOS	92
6.5.3	PROPUESTA DE ACTUACIÓN.....	99
6.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SEXTO MONITOREO	100
6.6.1	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO	101
6.6.2	RESULTADOS OBTENIDOS	104
6.6.3	PROPUESTA DE ACTUACIÓN.....	106
6.7	ESQUEMA FINAL DE TRATAMIENTO.....	108
6.8	SEGUIMIENTO FINAL DE LA EDAR	109
7.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN LOS PROCESOS DE MONITOREO	111
7.1	TEMPERATURA (T)	111
7.2	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	112
7.3	CONDUCTIVIDAD	113
7.4	SALINIDAD	114
7.5	OXÍGENO DISUELTO (OD).....	115
7.6	PORCENTAJE DE SATURACIÓN	116
7.7	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO CARBONOSA (DBO _{lim} carbonosa)	117
7.8	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO AL QUINTO DÍA	118
7.9	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO NITROSA	119
7.10	SÓLIDOS SUSPENDIDOS (SS).....	120
7.11	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	121
7.12	AMONIO.....	122
7.13	PARÁMETROS EN EL REACTOR BIOLÓGICO.	123
7.14	PARÁMETROS EN EL SEDIMENTADOR	125
8.	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO: TRH, TRC, PRODUCCIÓN DE FANGOS, PURGA DE FANGOS, CONSTANTES DE DEGRADABILIDAD CARBONOSA Y NITROSA.	127
9.	EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	141
10.	COSTOS.....	144

11.	PROPUESTA DE MEJORA	146
12.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	148
13.	ANEXOS	151
14.1	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	151
14.2	CÁLCULO VOLUMEN DEL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN	161
14.3	FICHAS DE MONITOREOS REALIZADOS.....	163
14.	BIBLIOGRAFÍA	169

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Valores recomendados para el diseño de las rejillas	17
Cuadro N° 2: Tipos de diseños según el caudal y carga que puede soportar	23
Cuadro N° 3: Valores de límites de vertido con tratamiento secundario.	24
Cuadro N° 4: Valores de límites de vertido sobre nutrientes.	24
Cuadro N° 5: Ruta de acceso a la EDAR, BÉTERA.	27
Cuadro N° 6: Número de habitantes en la fundación Alfonso Roig.....	29
Cuadro N° 7: Valores de parámetros de diseño considerados en del reactor biológico.	31
Cuadro N° 8: Valores de parámetros de diseño considerados en el sedimentador.	32
Cuadro N° 9: Valores de resultados del efluente en el año 2009.	33
Cuadro N° 10: Valores obtenidos en los de monitoreos de los años 2014 y 2015.	41
Cuadro N° 11: Valor del caudal residual promedio, factor punta y caudal máximo punta.	48
Cuadro N° 12: Ejemplo del factor punta elevado para una vivienda.....	49
Cuadro N° 13: Consumo según el número de personas y actividades realizadas	50
Cuadro N° 14: Valor del caudal residual promedio, factor punta y caudal máximo punta, según la dotación por habitante.	50
Cuadro N° 15: Valor del caudal de agua residual promedio, máximos y mínimos seleccionados.....	51
Cuadro N° 16: Cronograma de monitoreo realizado a lo largo del proyecto.....	52
Cuadro N° 17: Selección de volúmenes según la DBO esperada.	57
Cuadro N° 18: Métodos seleccionados para la determinación de parámetros en el laboratorio.	60
Cuadro N° 19: Valores de DBO total obtenidos en el laboratorio.	63
Cuadro N° 20: Resultados del monitoreo N°1 (22/09/2015), parámetros en los 05 puntos de monitoreo. 70	
Cuadro N° 21 : Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.	71
Cuadro N° 22: Resultados del monitoreo N°1, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.	72
Cuadro N° 23: Cálculo de TRH del sedimentador.....	73
Cuadro N° 24: Cálculo de la producción de fangos.	73
Cuadro N° 25: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.....	74
Cuadro N° 26: Cálculo del caudal máximo de recirculación del Venturi.....	74
Cuadro N° 27: Resultado del monitoreo N°2 (27/10/2015), parámetros en los 05 puntos de monitoreo. ..	76
Cuadro N° 28: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.	76
Cuadro N° 29: Resultados del monitoreo N°2, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.	77
Cuadro N° 30: Cálculo de la producción de fangos segundo monitoreo.....	78
Cuadro N° 31: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.....	78
Cuadro N° 32: Producción de fangos y caudal de purga.....	79
Cuadro N° 33: Resultados del monitoreo N°3 (15/12/2015), parámetros de los 05 puntos de monitoreos.81	
Cuadro N° 34: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa	82
Cuadro N° 35: Resultado del monitoreo N°3, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.	82
Cuadro N° 36: Cálculo de la producción de fangos del tercer monitoreo.	83
Cuadro N° 37: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.	84
Cuadro N° 38: Resultado del monitoreo N°4 (15/01/2016), parámetros en los 05 puntos de monitoreos..	86
Cuadro N° 39: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.....	87
Cuadro N° 40: Resultados del monitoreo N°4, parámetros en el reactor y sedimentador.	87
Cuadro N° 41: Cálculo de la producción de fangos del cuarto monitoreo.	88
Cuadro N° 42: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.	89
Cuadro N° 43: Valores de operación en el sistema de aireación y OD en el reactor.....	91
Cuadro N° 44: Resultados del monitoreo N°5 (11/02/2016), parámetros en los 05 puntos monitoreados. 93	
Cuadro N° 45: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.	93
Cuadro N° 46: Resultados del monitoreo N° 5, parámetros en el reactor y sedimentador.	94

Cuadro N° 47: Cálculo de la producción de fangos del quinto monitoreo.....	99
Cuadro N° 48: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.....	99
Cuadro N° 49: Monitoreo del oxígeno disuelto en el reactor.	101
Cuadro N° 50: Resultado del monitoreo N°6 (21/03/2016), parámetros en los 05 puntos monitoreados. 105	
Cuadro N° 51: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.....	105
Cuadro N° 52: Resultado del monitoreo N°6, parámetros del reactor y sedimentador.....	106
Cuadro N° 53: Cálculo de la producción de fangos del sexto monitoreo.....	107
Cuadro N° 54 : Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.....	107
Cuadro N° 55: Resultado de la temperatura en la línea de agua.	111
Cuadro N° 56: Resultado del potencial de hidrógeno en la línea de agua.....	112
Cuadro N° 57: Resultado de la Conductividad en la línea de agua.....	113
Cuadro N° 58: Resultado de la salinidad en la línea de agua.	114
Cuadro N° 59: Resultado del oxígeno disuelto en la línea de agua.	115
Cuadro N° 60: Resultado del % de saturación en la línea de agua.	116
Cuadro N° 61: Resultado de la DBO Carbonosa en la línea de agua.....	117
Cuadro N° 62: Resultado de la DBO 5 en la línea de agua.....	118
Cuadro N° 63: Resultado de la DBO Nitrosa en la línea de agua.	119
Cuadro N° 64: Resultados de los SS en la línea de agua.....	120
Cuadro N° 65: Resultado de DQO en la línea de agua.....	121
Cuadro N° 66: Resultado de en la línea de agua.....	122
Cuadro N° 67: Resultados del OD en el reactor.	123
Cuadro N° 68: Resultados de temperatura.....	123
Cuadro N° 69: Resultados de salinidad.....	124
Cuadro N° 70: Resultado de conductividad.	124
Cuadro N° 71: Resultado de ST, STV, STNV.....	125
Cuadro N° 72: Resultados de ST, STV, STNV.	125
Cuadro N° 73: Cálculo de TRH real del reactor.	127
Cuadro N° 74: Tiempo de retención hidráulico en los componentes de tratamiento.	127
Cuadro N° 75: Relación de recirculación para diferentes días de tiempo de retención celular.	128
Cuadro N° 76: Cálculo del caudal de recirculación.....	129
Cuadro N° 77: Resultado de producción de fangos y caudal de purga.	130
Cuadro N° 78: Fangos retirados con el efluente del sedimentador (S2).....	131
Cuadro N° 79: Resultados de la carga másica en el reactor biológico.	132
Cuadro N° 80: Arranque y paro del sistema de la soplante.	134
Cuadro N° 81: Número de veces y tiempo de recirculación en el sistema Venturi.....	135
Cuadro N° 82: Número de veces y tiempo de recirculación de la bomba sobre la placa.....	135
Cuadro N° 83: Cantidad de fangos recirculados desde la placa porosa.....	136
Cuadro N° 84: Cantidad de fangos totales recirculados al reactor biológico.....	136
Cuadro N° 85: Resumen de recirculación de fangos teórico y en campo.....	137
Cuadro N° 86: Ecuación del consumo de la materia orgánica y las constantes de biodegradabilidad.	138
Cuadro N° 87: Constante de velocidad de biodegradabilidad carbonosa y constante de nitrificación.	139
Cuadro N° 88: Valores de carga superficial y carga de sólidos en el sedimentador.....	140
Cuadro N° 89: Valores de la carga orgánica por m ² que ingresa al humedal.....	141
Cuadro N° 90: Valores considerados en el diseño del humedal.....	141
Cuadro N° 91: Diseño del humedal artificial.....	142
Cuadro N° 92: Valores de carga que soporta en humedal construido.....	143
Cuadro N° 93: Costo y consumo de energía antes de la intervención.....	144
Cuadro N° 94: Costo de operación y mantenimiento antes de la intervención.....	144
Cuadro N° 95: Costos y consumo de energía después de la intervención.....	145

Cuadro N° 96: Costo de operación y mantenimiento después de la intervención.....	145
Cuadro N° 97: Caudal a recircular del sistema Venturi.	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sistema de rejas.....	17
Figura N° 2: Localización del proyecto.....	26
Figura N° 3: Ubicación de la EDAR dentro de la Fundación Alfonso Roig.	27
Figura N° 4: Valores de temperatura máxima, mínima y promedio anuales en la zona de estudio.....	28
Figura N° 5: Geometría y abertura del sistema de rejas instaladas inicialmente.	30
Figura N° 6: Diagrama del reactor biológico y sedimentador.....	31
Figura N° 7: Esquema del proyecto inicial	32
Figura N° 8: Insumos y partes del proceso físico - químico	33
Figura N° 9: Espesador de fangos instalado en el proceso físico - químico.	34
Figura N° 10: Primera modificación del proceso de tratamiento (proceso físico - químico).....	35
Figura N° 11: Fangos flotantes en el decantador lamelar del proceso Físico-químico.....	36
Figura N° 12: Geometría y abertura de las rejas nuevas.	37
Figura N° 13: Sistema Venturi utilizado como sistema de recirculación de fangos.	38
Figura N° 14: Sistema de bombeo sobre la placa porosa.	38
Figura N° 15: Proceso constructivo del humedal artificial.	39
Figura N° 16: Esquema del reactor biológico con el sistema terciario (humedal artificial).....	40
Figura N° 17: Esquema del sistema evaluado al inicio del proyecto.....	42
Figura N° 18: Bomba instalada en el depósito de almacenamiento (6m ³ /h).....	44
Figura N° 19: Caudal de retorno del sistema de bombeo.....	45
Figura N° 20: Valores de consumo diario del año 2015.....	46
Figura N° 21: Valores de consumos de lunes a viernes del año 2015.	47
Figura N° 22: Valores de consumos en los sábados y domingo del año 2015.....	47
Figura N° 23: Valores típicos del factor punta según caudales obtenidos.	49
Figura N° 24: Esquema de puntos de monitoreo seleccionados para el proyecto.....	52
Figura N° 25: Consumo del oxígeno disuelto sin inhibidor de bacterias nitrificantes.....	64
Figura N° 26: Consumo del oxígeno disuelto y consumo de la materia orgánica carbonosa.	65
Figura N° 27: Consumo del oxígeno disuelto y consumo de la materia orgánica nitrosa.	67
Figura N° 28: Construcción de acceso entre la cámara de rejas y el reactor biológico.	85
Figura N° 29 : Sistema de aireación cambiado.....	90
Figura N° 30: Temporizadores para controlar los tiempos de recirculación.....	92
Figura N° 31: Fangos flotantes luego del quinto monitoreo.	95
Figura N° 32: Flotación de fangos en el sedimentador.	96
Figura N° 33: Demanda biológica de oxígeno en la salida del sedimentador.	98
Figura N° 34: Comparación de la superficie del sedimentador.	102
Figura N° 35: Fangos flotantes en el monitoreo.	103
Figura N° 36: Fangos flotantes en el decantador lamelar.	103
Figura N° 37: Esquema final de la EDAR en estudio	108
Figura N° 38: Resultados de los cambios realizados en el reactor.....	109
Figura N° 39: Resultados de los cambios realizados en el sedimentador	110
Figura N° 40: Turbidez en el efluente del humedal artificial.	110
Figura N° 41: Variación de los valores de temperatura según puntos de monitoreo.	111
Figura N° 42: Variación de los valores del potencial hidrógeno según puntos de monitoreo.....	112

Figura N° 43: Variación de los valores de conductividad según puntos de monitoreo.	113
Figura N° 44: Variación de los valores de salinidad según puntos de monitoreo.	114
Figura N° 45: Variación de los valores de oxígeno disuelto según puntos de monitoreo.	115
Figura N° 46: Variación de los valores del % de saturación según puntos de monitoreo.	116
Figura N° 47: Variación de los valores de la DBO Carbonosa según puntos de monitoreo.	117
Figura N° 48: Variación de los valores de la DBO ₅ según puntos de monitoreo.	118
Figura N° 49: Variación de los valores de la DBO Nitrosa según puntos de monitoreo.	119
Figura N° 50: Variación de los valores de los sólidos suspendidos según puntos de monitoreo.	120
Figura N° 51: Variación de los valores de la DQO según puntos de monitoreo.	121
Figura N° 52: Variación de los valores de amonio según puntos de monitoreo.	122
Figura N° 53: Variación del Oxígeno disuelto en el reactor.	123
Figura N° 54: Variación del Oxígeno disuelto en el reactor.	123
Figura N° 55: Variación de la salinidad en el reactor.	124
Figura N° 56: Variación de la conductividad en el reactor.	124
Figura N° 57: Variación de los SST y porcentaje de los SSTV.	125
Figura N° 58: Variación de los ST y porcentaje de SSTV.	126
Figura N° 59: Valores de caudales a recircular según los monitoreos realizados.	130
Figura N° 60: Índice de HOHLMAN.	132
Figura N° 61: Gráfica de carga másica obtenida VS la carga másica recomendada.	133
Figura N° 62: Valores de Ka según la carga que ingresa al humedal.	142

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto:

Título: DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) COMPACTA EN LA LOCALIDAD DE BÉTERA.

Alumno: Miguel Antonio Quiroz Mantari

E-mail: mquirozm23@gmail.com

Director: Miguel Martín Monerri

Codirector/es: Carmen Hernández Crespo

Resumen

Generalmente debido a la existencia de centros poblados pequeños, urbanizaciones, residencias, etc. y frente a la necesidad de tener que realizar el tratamiento de sus aguas residuales, aguas con calidad y cantidad muy variables, se debe de tener cuidado al presentar alternativas de solución en cuanto tecnologías de tratamiento ya sea físico -químico, biológico y/o avanzado.

Frente a este problema se viene patentando EDAR en menores escalas denominadas compactas que intentan dar la solución al problema de tratamiento, no obstante tienden a presentar problemas al momento de su gestión, por ejemplo en el requerimiento de equipo y energía continua, manejo y disposición de fangos, grado de dificultad de operación y mantenimiento, requerimiento de personal capacitado, el costo de inversión y de O&M, sostenibilidad en el tiempo, flexibilidad frente a variaciones bruscas de caudales, etc.

La Fundación Roig Alfonso de la Comunidad Valenciana (BÉTERA) es una entidad con fines sociales y sin fines de lucro dedicada a la integración socio - laboral de las personas con discapacidad intelectual. Ésta Fundación cuenta con el aprovechamiento de las aguas subterráneas que sirven para su abastecimiento de agua cuyo tratamiento se da por el método de desalación mediante osmosis inversa.

La Fundación también cuenta con una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) compacta que viene tratando las aguas residuales urbanas de la zona residencial y aguas del taller de gres porcelanito utilizadas para la limpieza de herramientas utilizadas.

La EDAR cuenta con un sistema de rejas, un reactor aerobio de oxidación total, un sedimentador (estos últimos hacen la planta compacta), un decantador lamelar y un humedal artificial. Presentando problemas de funcionamiento principalmente en la planta compacta.

El presente trabajo estuvo dirigido en encontrar una solución adecuada y sostenible al problema del incumplimiento de los requisitos de vertido de la EDAR, dicha solución se logró luego del análisis de funcionamiento de todas las instalaciones que componen la EDAR. De ésta manera obtener una calidad del efluente adecuada según los límites máximos permisibles en la Directiva 91/271/CEE del Consejo (1991).

El objetivo principal del proyecto se planteó alcanzar mediante una evaluación continua de la EDAR, realizando un muestreo mensual en 5 puntos de la línea de aguas y analizando los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, DQO, DBO total, DBO carbonosa, DBO nitrosa, sólidos en suspensión y su fracción volátil, concentración y sedimentabilidad del fango biológico, temperatura y pH.

Luego de realizar el diagnóstico y mediante el análisis de los resultados obtenidos en los monitoreos, se planearon y ejecutaron paulatinamente propuestas de mejora para conseguir llegar a cumplir con los límites de vertido exigidos.

Al final del proyecto los valores en el efluente de la EDAR resultaron:

Con respecto a la concentración de la DQO un valor de 58 mg/l, llegando a cumplir con la normativa de vertido (125 mg/l). Siendo el valor al inicio del proyecto igual a 229 mg/l.

Con respecto a la concentración de sólidos suspendidos se consiguió un valor promedio de 13 mg/l (± 3 mg/l), encontrándose dentro de los valores de vertido exigidos (35 mg/l).

La concentración de la DBO₅ presentó valores promedios de 27 mg/l (± 6 mg/l), teniendo la necesidad de disminuir la concentración de este parámetro a la salida de la planta compacta para alcanzar el valor límite exigido (25 mg/l).

La concentración de amonio se consiguió disminuir de 64 mg N/l (1° monitoreo) hasta un valor de 26 mg N/l (6° monitoreo). Sin embargo, el valor final aún no ha logrado cumplir con el valor límite que exige en la actualidad la normativa (7 mg N/l).

Al final del proyecto se observó los cambios que ocurría en el tren tratamiento luego de plantear y ejecutar propuestas de mejora y se propuso un manual de operación y mantenimiento de la EDAR, factible para el personal u operario encargado con la finalidad de mantener sostenible la alternativa de solución conseguida y continuar con el adecuado funcionamiento de la depuradora; objetivo principal del presente trabajo.

En Ingles (máximo 2000 palabras)

Usually due to the existence of small population centers, housing estates, residences, etc. and the need of having to treat their wastewater, water quality and quantity are highly variable, care must be taken when presenting alternative solutions regarding treatment technologies whether they are physical - chemical, biological and/or advanced treatments.

Faced with this problem there has been patented wastewater treatment plants at smaller scales called “compact” that try to give the solution to the problem of treatment, however they tend to have problems of management, for example in equipment and continues energy requirements, handling and disposal of the sludge generated, degree of difficulty for operating and maintenance, requirement of trained personnel, investment cost and O&M, sustainability over time, flexibility against abrupt changes in flow rates, etc.

The Roig Alfonso Foundation of Valencia (BÉTERA) is an organization for social purposes and non-profit dedicated to social integration and employment of people with intellectual disabilities. This organization has the advantage of using groundwater, which is used to supply their water needs and whose water treatment is given by the method of desalination by reverse osmosis.

The foundation also has a compact industrial water treatment plant (WWTP) that treats the sewage of the residential area and part of the water that is use for cleaning in the workshop of stoneware porcelanite.

The treatment plant has a system of grilles, an aerobic reactor of total oxidation, a settler (these last ones make up the compact plant), a lamella clarifier, and finally an artificial wetland.

An operational problem has been occurring in the compact plant, showing problems in the removal of parameters and doesn't work correctly.

This work is aimed at finding a suitable and sustainable solution to the problem of non-compliance to the discharge requirements; this solution is raised after the analysis of the functioning of all the facilities that make up the WWTP. In order to reach water quality objectives and requirements of discharge established in the council directive 91/271/CEE of 1991.

The main objective of the project was raised achieved by continuous assessment of the wastewater treatment plant, making a monthly sampling at 5 points of the line of water and analyzing: Dissolved oxygen, COD, total BOD, BOD carbonaceous, BOD Nitrous, suspended

solids and the volatile fraction, concentration and settleability of biological sludge, temperature, pH.

Then, from a diagnosis before starting the monitoring and with the results and efficiencies that have reached the components, raise and implement the improvement proposals for reaching the required discharge limits.

At the end of the project COD values of 58 mg/l were obtained, which in the beginning of the project this value was to 229 mg/l, reaching the requirements of discharge established (125 mg/l).

Values of suspended solids are in an average value of 13 mg/l (± 3 mg/l), being within the values of required discharge (35 mg/l).

The values of BOD₅ presented some average values of 27 mg/l (± 6 mg/l), facing the need to adjust the quality of the treatment train for this parameter, especially in the biological reactor, in order to reach the limit value required (25 mg/l).

Ammonium was reduced from 64 mg N/l (monitoring number 1) to a value of 26 mg N/l (monitoring number 6), however the final value achieved hasn't reach the requirements of discharge established (7 mg N/l).

At the end of the project the change that occurs in the monitored points were observed according to the improvement proposals and a manual of operation and maintenance of the wastewater treatment plant was proposed, feasible for personal or operator in charge and in order to maintain sustainable the alternative of solution proposed and continue with the proper functioning of the plant which is the main objective of this project.

En Valenciano (máximo 2000 palabras)

Generalment a causa de l'existència de centres poblats petits, urbanitzacions, residències, etc. i davant la necessitat d'haver de realitzar el tractament de les seves aigües residuals, aigües amb qualitat i quantitat molt variables, es deu anar amb compte en presentar alternatives de solucions quant a tecnologies de tractament ja sigui físic - químic, biològic i/o avançat.

Davant d'aquest problema es ve patentant EDAR en menors escales anomenades compactes que intenten donar la solució al problema de tractament, tot i això tendeixen a presentar problemes al moment de la seva gestió, per exemple en el requeriment d'equip i energia contínua, maneig i disposició de fangs, grau de dificultat d'operació i manteniment, requeriment de personal capacitat, el cost d'inversió i d'O & M, sostenibilitat en el temps, flexibilitat enfront de variacions brusques de caudals, etc.

La Fundació Roig Alfonso de la Comunitat Valenciana (BÉTERA) és una entitat amb fins socials i sense ànim de lucre dedicada a la integració sociolaboral - laboral de les persones amb discapacitat intel·lectual. Aquesta fundació compta amb l'aprofitament de les aigües subterrànies que serveixen per al seu proveïment d'aigua el tractament es dona pel mètode de dessalació mitjançant osmosi inversa.

La fundació també compta amb una Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR) compacta que ve tractant les aigües negres de la zona residencial i part de les aigües de neteja que es realitza al taller de gres porcelanito.

L'EDAR compta amb un sistema de reixes, un reactor aerobi d'oxidació total, un sedimentador (aquests últims fan la planta compacta), un decantador lamel·lar, i finalment un aigumoll artificial.

Els problemes de funcionament s'han produït en la planta compacta, presentant problemes en la remoció de paràmetres i aconseguir funcionar adequadament.

El present treball està dirigit a trobar una solució adequada i sostenible al problema de l'incompliment dels requisits d'abocament, aquesta solució es va plantejar després de l'anàlisi del funcionament de totes les instal·lacions que componen l'EDAR. D'aquesta manera obtenir una qualitat de l'efluent adequada segons els límits màxims permissibles en la Directiva 91/271/CEE del Consell (1991).

L'objectiu principal del projecte es va plantejar assolir mitjançant una avaluació contínua de l'EDAR, realitzant un mostreig mensual en 5 punts de la línia d'aigües i analitzant: Oxigen

dissolt, DQO, DBO total, DBO carbonosa, DBO nitrosa, Sòlids en suspensió i la seva fracció volàtil, concentració i sedimentabilidad del fang biològic, temperatura, pH.

Després, a partir d'un diagnòstic abans d'iniciar els monitoratges i amb la informació dels resultats i eficiències que hagin assolit els components, plantejar i executar les propostes de millora per aconseguir arribar als límits d'abocament exigits.

Al final del projecte es va obtenir valors de DQO de 58 mg/l, tendeixo valors a l'inici del projecte igual a 229 mg/l, arribant a complir amb la normativa d'abocament (125 mg/l).

En els valors de sòlids suspesos estan en un valor mitjà de 13 mg/l (± 3 mg/l), trobant dins dels valors d'abocament exigits (35 mg/l).

Els valors de la DBO₅ van presentar uns valors mitjans de 27 mg/l (± 6 mg/l), necessitant ajustar una mica més la qualitat en el tren de tractament per a aquest paràmetre, sobretot en el reactor biològic, per assolir el valor límit exigit (25 mg/l).

Els valors d'amoni es va aconseguir disminuir de 64 mg N/l (1° monitoratge) fins a un valor de 26 mg N/l (6° monitoratge), però el valor final encara no ha aconseguir complir amb el valor límit que els exigeix en l'actualitat la normativa (7 mg N/l).

Al final del projecte, es van observar els canvis que ocorrien en els punts monitoritzats segons les propostes de millora i es va proposar un manual d'operació i manteniment de l'EDAR, factible per al personal o operari encarregat i amb la finalitat de mantenir sostenible l'alternativa de solució aconseguida i continuar amb l'adequat funcionament de la planta sent l'objectiu principal del present treball.

Palabras clave: Diagnóstico, depuración, planta compacta, oxidación total, parámetros, tiempo de retención, recirculación, operación, límites de vertido.

Fecha: jueves, 26 de mayo de 2016

Miguel Antonio Quiroz Mantari

Fdo. (Alumno)

1. INTRODUCCIÓN

El agua residual en una zona de estudio es el agua que resulta del aprovechamiento del agua de abastecimiento, tras haberla usado en las diversas actividades del ser humano como actividades domésticas, industriales, agrícolas, sociales, etc.

Por lo mismo, las características de las aguas residuales son variables en las diferentes zonas de estudio y para la realización de un proyecto de tratamiento. Por lo tanto, se tendrá que tener en cuenta diversos factores como por ejemplo: costumbres o hábitos cotidianos, el nivel de desarrollo del lugar, el número de habitantes, tipo o sistema de alcantarillado usado, factores ambientales como el clima, precipitación, etc.

El vertimiento de las aguas residuales teniendo en cuenta las características físico - químicas y biológicas, así como la cantidad de agua residual sin previo tratamiento genera un impacto negativo (contaminación) en las zonas donde se vierten como por ejemplo en lagos, lagunas, ríos, quebradas, zonas subterráneas, mar, etc.

Es por ello que se proponen límites de vertidos a través de legislaciones en la disposición final de las aguas residuales, para cuidar las zonas donde se realiza el vertimiento. Por ende para lograr llegar a estos límites de vertidos propuestas en las legislaciones es necesario la instalación de una Estación Depuradora de Agua Residual (EDAR).

En la actualidad una EDAR consta de muchas posibilidades (tecnologías y/o componentes) para realizar el tratamiento del agua residual que serán seleccionados según la calidad y cantidad del agua residual, la disponibilidad económica, disponibilidad de espacio, el tipo de uso final del efluente de la EDAR, etc.

Como se mencionó anteriormente, uno de los factores muy importantes que tienen que ver con la calidad y cantidad del agua residual, es el número de habitantes en una determinada zona, lo cual complica la selección del tratamiento a proyectar evidenciándose mayores dificultades en zonas con pequeñas poblaciones como por ejemplo: casas, zonas residenciales, zonas rurales, haciendas, etc.

Es por esta razón existen empresas intentan aprovechar los mecanismos de tratamiento de las tecnologías existente y patentan EDARs compactas e intentan dar solución a este tipo problemas. Sin embargo, para obtener una solución eficiente es necesario tener mayores consideraciones en el tratamiento de pequeños caudales, lo cual hace muchas veces inviable la instalación de este tipo de plantas compactas.

A continuación se mencionará brevemente las posibles tecnologías de tratamiento disponibles en el campo del tratamiento de aguas residuales y una breve descripción y ejemplos de EDARs compactas.

1.1 ETAPAS DE TRATAMIENTO

El tren de tratamiento de una EDAR consta de un conjunto de componentes que dependiendo de factores como: la calidad de agua residual a tratar, el uso del efluente tratado, costos de operación y mantenimiento, disponibilidad de espacio, flexibilidad de la instalación y de los límites de vertidos final, etc. pueden ser más o menos apropiado la selección de ellos.

Por lo tanto, no siempre es trascendental llegar hasta las últimas etapas de tratamiento. Pero sí existen etapas en las que es casi obligatorio la instalación de ciertos componentes.

a) Pretratamiento

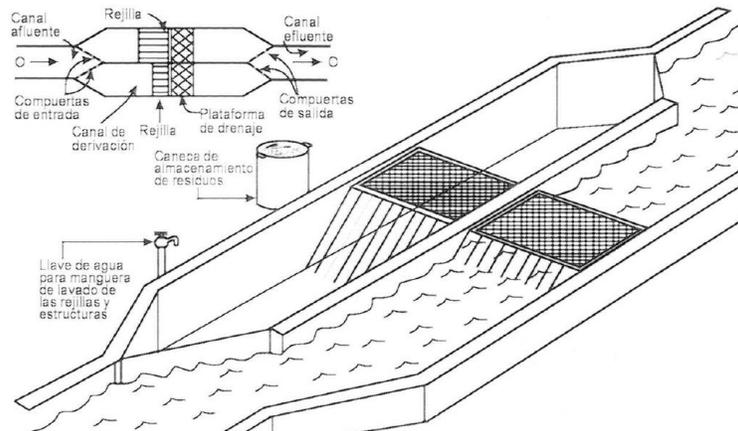
Antes de realizar un tratamiento de las aguas residuales es importante realizar un pretratamiento o acondicionamiento de las aguas a tratar.

Dentro de los componentes o instalaciones más importantes e imprescindibles se encuentran:

- ❖ Sistema de rejillas, cribado o desbaste

Se observa en la Figura N° 1 que es un sistema que se utiliza para retener la materia de mayores tamaños (gruesos) y no dejarlos pasar al tratamiento posterior. La abertura depende del objetivo que se desea remover y la materia sólida recogida se suele clasificar en finos y gruesos.

Figura N° 1: Sistema de rejas



En el Cuadro N° 1 se muestran valores recomendados para el diseño del sistema de rejas según el método de limpieza, siendo estas del tipo manual o del tipo mecánico.

Cuadro N° 1: Valores recomendados para el diseño de las rejas

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0.5 - 1.5 cm	0.5 - 1.5 cm
Profundidad de las barras	2.5 - 7.5 cm	2.5 - 7.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5 - 5.0 cm	1.5 - 7.5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0.3 - 0.6 m/s	0.6 - 1 m/s
Perdida de energía permisible	15 cm	15 cm

El sistema de rejas en una EDAR es importante debido a que no permite el paso de la materia que no es apta para el tratamiento posterior, ya sea de un proceso físico - químico o biológico, reteniendo el paso de material como por ejemplo: zapatos, plásticos, cabellos, etc.

❖ Desarenador

Los desarenadores son utilizados generalmente para remover material inorgánico tales como arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidades de

asentamiento o peso específico bastante mayor que el del material orgánico degradable de las aguas residuales.

De esta manera se pueden proteger los equipos (bombas sumergidas), tuberías o depósitos donde puede ocurrir un desgaste o una sedimentación posterior.

Como se comentó, éstas son las principales y mínimas instalaciones con las que debe de contar una EDAR. Sin embargo, también existen otras instalaciones como por ejemplo: trituradores que rompen o desgarran los sólidos en suspensión que luego se eliminan por suspensión, los desengrasadores que eliminan la excesiva formación de grasa o espuma que viene con el agua problema, el tanque de homogenización que se aprovecha para la laminación del caudal y estabilizar la calidad del agua en zonas con demasiadas variaciones (generalmente en zonas pequeñas o alejadas), etc.

El uso de estas instalaciones depende de la calidad y/o cantidad de agua problema que ingresa a la EDAR.

b) Tratamiento

Luego del acondicionamiento del agua problema, habiendo retirado el material pertinente, el agua pasa por distintos niveles de tratamiento que se describen brevemente a continuación.

❖ **Tratamiento primario:** El mecanismo predominante en esta etapa es el proceso físico, encargado de remover los sólidos en suspensión presentes en el agua residual.

Entre los principales sistemas de tratamiento primario se puede encontrar:

- ✓ Floculación.
- ✓ Sedimentación.
- ✓ Flotación.
- ✓ Neutralización.
- ✓ Precipitación química.
- ✓ Etc.

- ❖ **Tratamiento secundario:** El mecanismo predominante en este nivel es el proceso biológico. En este nivel de tratamiento se pueden eliminar principalmente contaminantes como materia orgánica remanente del tratamiento primario.

El tratamiento secundario es el nivel de tratamiento más completo eliminando el material orgánico en un EDAR.

Entre los principales sistemas de tratamiento se pueden mencionar:

- ✓ Fangos activados (según la carga másica):
 - Alta carga.
 - Convencional.
 - Aireación prolongada (Oxidación total).
 - ✓ Lagunas aireadas.
 - ✓ Sistemas de lagunaje.
 - ✓ Filtros biológicos.
 - ✓ Disco biológicos.
 - ✓ Digestión anaerobia.
 - ✓ Otros.
-
- ❖ **Tratamiento Terciario o “avanzado”:** Este nivel generalmente se utiliza cuando el efluente se desea reutilizar o se tiene un agua problema con mucha contaminación en parámetros como nutrientes, microorganismos patógenos, compuestos no biodegradables, sólidos inorgánicos disueltos. Siendo necesario este nivel de tratamiento para cumplir con la normativa de vertido exigida.

Entre los principales sistemas de tratamiento terciario se pueden mencionar:

- ✓ Micro tamizado
- ✓ Filtración (lechos de arena, antracita, etc.)
- ✓ Cloración y ozonización
- ✓ Humedales artificiales
- ✓ Otros

1.2 AIREACIÓN PROLONGADA (OXIDACIÓN TOTAL)

Dado que el sistema de tratamiento empleado en la EDAR, objeto de estudio, está basado en aireación prolongada o también conocido como oxidación total, se describe con mayor detalle este sistema.

❖ Aireación prolongada

El proceso de aireación prolongada es una modificación del proceso convencional de fangos activados, con la diferencia de la disminución y estabilización del fango residual. Este objetivo se consigue incrementando el tiempo de retención celular y una aireación prolongada y como consecuencia el fango degradable formado se consume mediante respiración endógena.

La ventaja principal del proceso de oxidación total es que las instalaciones para la manipulación de fangos son muy pequeñas al compararlas con las que se necesitan en el proceso de convencional.

Existen características básicas que distinguen la aireación prolongada u oxidación total del proceso convencional de fangos activados:

1) Mayor tiempo de retención celular (TRC)

El proceso de oxidación total opera a valores elevados de tiempo de retención celular de 20 - 30 días. A comparación de proceso convencional que presenta un TRC de 5 - 15 días o el proceso de alta carga igual 5 – 10 días.

2) Tiempo de retención hidráulico (TRH)

En el proceso de oxidación total es necesario tener elevados valores de TRH (18 – 36 horas) en comparación de otros procesos como por ejemplo el proceso convencional (3 – 9 horas) o el proceso de alta carga (0.5 – 2 horas).

3) Menores valores de carga másica (Cm)

En el proceso de oxidación total, la carga másica, expresada como relación de sustrato a microorganismos (A/M), se encuentra entre valores menores a 0.1 kg DBO₅ /kg SST d frente a los valores del proceso convencional de fangos activados que están entre 0.2 – 0.45 kg DBO₅ /kg SST d o los valores mayores que presentan el proceso de alta carga 1.5 – 2.3 kg DBO₅ /kg SST d.

4) Mayores concentraciones de sólidos suspendidos en el reactor.

Los valores de los sólidos suspendidos totales dentro del reactor biológico para el sistema de oxidación total se encuentra entre valores de 3000 – 6000 mg/l, frente a los valores del sistema convencional de 2500 – 4500 mg/l.

APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN TOTAL

El proceso de oxidación total ha sido aplicado principiante al tratamiento de aguas residuales correspondientes a pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo, algunos residuos industriales etc.

Actualmente se disponen de unidades prefabricadas utilizando el proceso de oxidación total. Si se diseñan y manejan adecuadamente no presentan problemas de olores y de esta forma podrían instalarse dentro de una zona poblada. Sin embargo, la operación y mantenimiento es uno de los problemas habituales que se presentan luego de la instalación de estas unidades en pequeñas poblaciones.

Generalmente los elementos que componen un tren de tratamiento en la oxidación total es un sistema de cámara de rejillas, reactor biológico y un decantador secundario.

NITRIFICACIÓN EN LA OXIDACIÓN TOTAL

En el proceso de oxidación total se puede presentar la nitrificación hasta un grado relativamente alto con el paso del nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos. Un problema asociado a la nitrificación es la caída del pH en el sistema debido a la formación de ácido nítrico.

El pH puede descender hasta valores de alrededor de 4.5 en cuyo caso el proceso biológico puede verse seriamente afectado.

En algunas plantas depuradoras se agrega lechada de cal al reactor biológico para mantener un pH relativamente neutro.

Los factores que afectan al proceso son:

- ✓ Temperatura
- ✓ pH
- ✓ Coordinación microorganismos - materia orgánica
- ✓ Inhibidores biológicos
- ✓ Nutrientes

1.3 PLANTAS COMPACTAS

Las plantas compactas para el tratamiento de aguas residuales aprovechan los mismos mecanismos que las tecnologías descritas anteriormente, procesos Físico – químico o biológico, haciendo modificaciones técnicas en el tren de tratamiento propias de la empresa, como por ejemplo variaciones en las cargas, tiempos de aireación, dimensionamiento de los componentes, formas de distribución para optimizar la disponibilidad de espacio, etc.

Sin embargo, debido a las variaciones realizadas no cuentan con mucha flexibilidad frente a cambios que puedan ocurrir en el agua problema, en calidad y cantidad, siendo en este tipo de casos donde empiezan los problemas al momento de la operación de la planta.

Frente a la variación de la calidad del agua problema es necesario tener a un personal cualificado para la operación de la depuradora. Frente a la variación de la cantidad (mayores caudales) al no contar con la flexibilidad, es necesario la instalar ampliaciones de la patente, situaciones que generan costos adicionales, muchas veces no son sostenibles en el tiempo.

Una de las tecnologías más aprovechadas por las plantas compactas es la aireación prolongada o también conocida como oxidación total, básicamente funcionan con una carga débil (relación entre alimento y cantidad de microorganismos baja), tiempo de

retención celular alto, lo que hace que los microorganismos presentes trabajen en una fase endógena, fase en la cual los microorganismos aprovechan su propia energías para sus actividades metabólicas y de reproducción.

En el Cuadro N° 2 se observar los tipos de diseños que presenta una depuradora compacta en función de la carga diaria de la DBO, capaz de soportar, utilizando como base la oxidación total.

Cuadro N° 2: Tipos de diseños según el caudal y carga que puede soportar.

TIPO	CAUDAL m ³ /h	DBO kg/d	Población
UMV-10	0,2	0,8	15 – 25
UMV-20	0,3	1,5	30 – 50
UMV-30	0,5	2,3	45 – 75
UMV-40	0,6	3,1	60 – 100
UMV-50	0,8	3,9	80 – 125
UMV-60	0,9	4,6	90 – 150
UMV-70	1,1	5,4	110 – 175
UMV-80	1,3	6,2	120 – 200
UMV-90	1,4	6,9	140 – 225
UMV-100	1,6	7,7	150 – 250

Fuente: Plantas de tratamiento de agua residual, Degrémont Suez; TIPO DIAPC UMV.

1.4 MARCO LEGISLATIVO

La Directiva 91/271/CEE, establece dos obligaciones claramente diferenciadas, en primer lugar las "aglomeraciones urbanas" deberán disponer de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales, y en segundo lugar, se proveen distintos tratamientos a los que deberán someterse dichas aguas antes de su vertido a las aguas continentales o marinas.

En la determinación de los tratamientos a que deberán someterse las aguas residuales antes de su vertido, se tienen en cuenta las características del medio receptor. De acuerdo con esto, los tratamientos serán más o menos rigurosos, según se efectúen en zonas calificadas como "sensibles", "menos sensibles" o "normales". Se consideran como zonas sensibles aquellas zonas consideradas como eutróficas o que podrán llegar a ser eutróficas en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección.

Los vertidos procedentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales que posean tratamiento secundario o equivalente, deben cumplir los requisitos de vertido detallados en la siguiente tabla, cumpliéndose el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

Cuadro N° 3: Valores de límites de vertido con tratamiento secundario.

Parámetros	Concentración (mg/l)	% Mínimo de reducción
Sólidos Suspendidos	35	90%
DBO ₅	25	70-90 %
DQO	125	75%

Requisitos de calidad exigidos en la Directiva 91/271/CEE

Para el caso de vertidos de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo en un futuro próximo, además de los requisitos expresados en la tabla anterior, se deberán cumplir los contenidos en la tabla siguiente:

Cuadro N° 4: Valores de límites de vertido sobre nutrientes.

Parámetros	Concentración	% Mínimo de reducción
Fosforo (P)	2 mg/l de (10.000 a 100.000 h.e.); 1 mg/l de (> 100.000 h.e. (**))	80%
Nitrógeno (N)	15 mg/l de (10.000 a 100.000 h.e.); 10 mg/l de (> 100.000 h.e.)	70-80%

(*) h.e: Habitantes equivalentes.

No obstante, para poblaciones inferiores a 2000 h.e. se exige un tratamiento adecuado sin especificar los elementos de la depuradora ni los límites de vertido aunque la administración competente los hace coincidir con el Cuadro N° 3 y Cuadro N° 4, siendo este último en muy pocos casos.

2. OBJETIVO

El objetivo general del presente Trabajo de Fin de Máster es obtener una calidad de agua en el efluente de una EDAR residencial de tipo compacto que cumpla los límites máximos permisibles establecidos en la autorización de vertido emitida por el Organismo de Cuenca.

(Objetivos específicos)

Con este fin y dado que el funcionamiento de la EDAR no es adecuado se han realizado las siguientes actividades:

- Realizar una total descripción de las líneas de agua y fango de la EDAR.
- Recabar y analizar información sobre las modificaciones y ampliaciones de la EDAR.
- Estudiar el funcionamiento de la EDAR, en concreto:
 - Calcular los parámetros de diseño y operación adecuados para el buen funcionamiento del tratamiento biológico:
 - ✓ Tiempo de retención hidráulico
 - ✓ Tiempo de retención celular.
 - ✓ Cargas orgánicas y de nitrógeno amoniacal.
 - ✓ Sedimentabilidad del fango.
 - ✓ Capacidad de recirculación de fangos.
 - ✓ Capacidad del sistema de aireación.
 - ✓ Capacidad de bombas y regímenes de bombeos.
 - Realizar un muestreo de calidad del agua en varios puntos de la instalación, midiendo las variables más significativas en este tipo de estudios.
 - Evaluar en qué medida la EDAR está funcionando o puede funcionar dentro de los parámetros de operación adecuados. Proponer los cambios necesarios en función de los resultados analíticos.
- Concluir si la capacidad del diseño de la EDAR es suficiente para tratar el agua residual que se produce actualmente en la residencia o si es necesario hacer modificaciones.
- Generar un manual de operación de la EDAR.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES

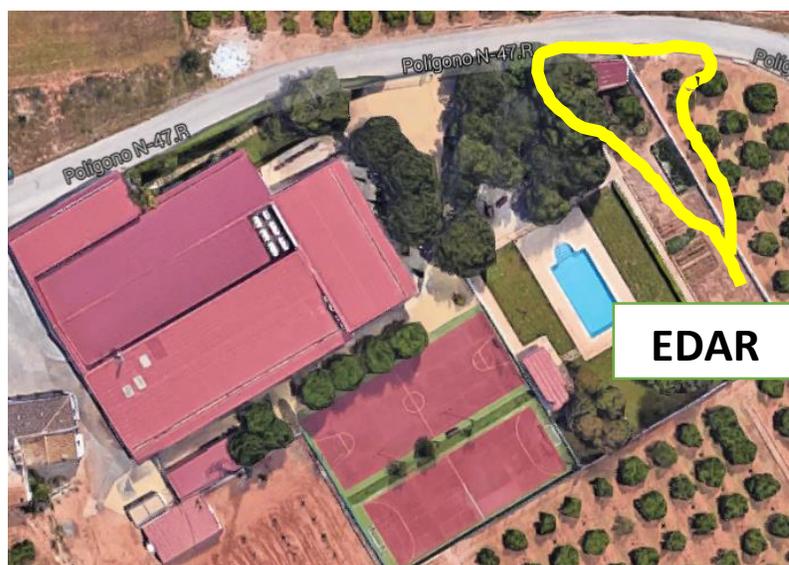
3.1 LOCALIZACIÓN

La EDAR de la Fundación Roig Alfonso se encuentra dentro de las instalaciones de la misma fundación, ubicada el municipio de BÉTERA (comunidad Valenciana). La Figura N° 2 muestra la localización de la EDAR en estudio.

Figura N° 2: Localización del proyecto.



Figura N° 3: Ubicación de la EDAR dentro de la Fundación Alfonso Roig.



Fuente: Google maps.

3.2 ACCESIBILIDAD

El área de influencia del proyecto cuenta con una infraestructura vial de acceso. En el Cuadro N° 5 se detallan las vías de acceso hacia la ubicación de la fundación Roig Alfonso donde se encuentra la EDAR.

Cuadro N° 5: Ruta de acceso a la EDAR, BÉTERA.

	MEDIO DE TRANSPORTE	TRAMOS (estaciones)	PARADAS	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (min)
TRANSPORTE PÚBLICO	Metro de valencia - Línea 4	CARRASCA (*) - EMPALME	14	6.3	30
	Metro de valencia - Línea 1	EMPALME - SEMINARIO CEU	7	7.3	15
	Auto	SEMINARIO - FUNDACIÓN ROIG ALFONSO	0	6.4	13
DIRECTO	Auto	CARRASCA - FUNDACIÓN ROIG ALFONSO	0	20.3	46

(*) Estación más cercana al laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia

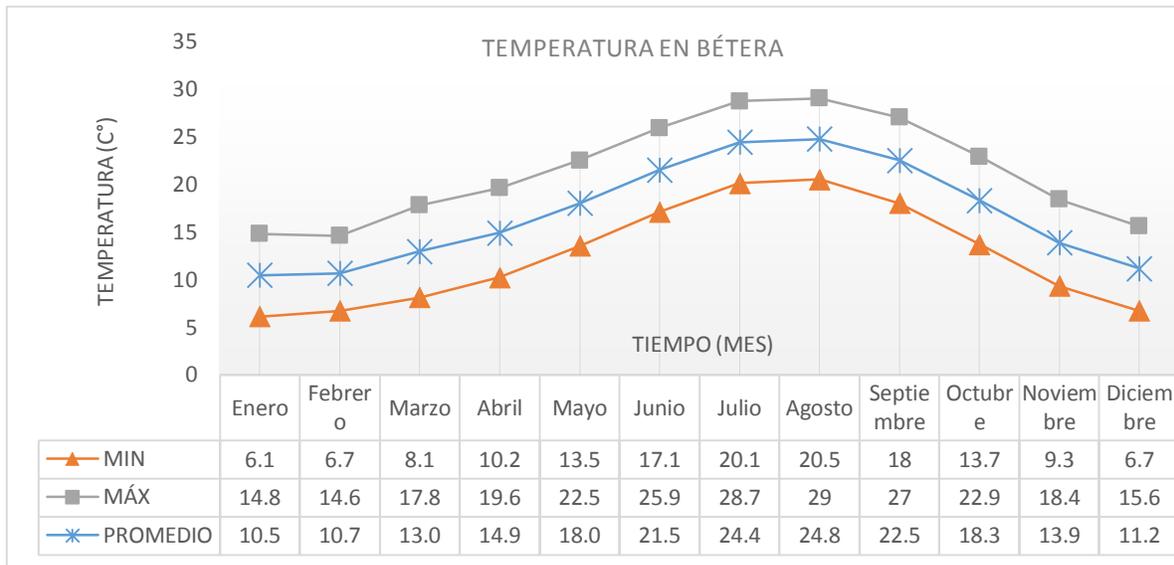
Fuente: Elaboración propia

3.3 CLIMATOLOGÍA

A) Temperatura

Las temperaturas en el municipio de Bétera varían entre un mínimo mensual de 6.1 °C en los meses de invierno (diciembre - enero - febrero) y un máximo de 29 °C en los meses de verano (junio - julio - agosto).

Figura N° 4: Valores de temperatura máxima, mínima y promedio anuales en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia, información <http://es.climate-data.org/location>.

El proyecto se realizó entre el mes de septiembre de 2015 y marzo de 2016, con una temperatura promedio de 22.5°C en el mes de septiembre y 13 °C en el mes de marzo.

3.4 POBLACIÓN

El número de habitantes varía según la actividad realizada a lo largo de la semana, entre los cuales se encuentran las personas que residen en la vivienda, siendo en la actualidad 6 personas fijas (durante todos los días del año) y 6 personas que luego de realizar las actividades en la Fundación retornan a sus respectivos hogares (de lunes a viernes de 8:00 de la mañana – 17:00 de la tarde). Por otro lado están las personas que trabajan en el taller de servicio de empleo que tiene la Fundación, donde trabajan 10 personas.

También se puede comentar que la vivienda tiene la capacidad de albergar a 2 personas adicionales si fuera necesario. A ellos les denominamos población adicional.

Cuadro N° 6: Número de habitantes en la fundación Alfonso Roig.

SEMANA	HORA	VIVIENDA TUTELADA			TALLER: SERVICIO DE EMPLEO	TOTAL
		POBLACIÓN FIJA	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN ADICIONAL	TRABAJADORES	
LUNES -VIERNES	8:00-17:00	6	6	2	10	24
SABADO - DOMINGO	Todo el día	6	-	-	0	6

Fuente: Elaboración propia, información brindada por personal de Fundación.

Se observa en el Cuadro N° 6 un total de 24 personas de lunes a viernes de 8:00 – 17:00 horas, donde se produciría el mayor consumo de agua potable y se genera una mayor cantidad de agua residual.

El fin de semana (sábados y domingos) residen 6 personas de manera general (salvo algunas festividades o actividades realizadas por familiares) por lo que el consumo de agua potable disminuye considerablemente y se tienen caudales mínimos hacia la EDAR.

4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ANTES DEL PROYECTO

El sistema de tratamiento de aguas residuales en la Fundación presentó modificaciones antes del diagnóstico y evaluación realizado en el presente proyecto y constaban de los elementos que se describen a continuación:

1. Instalación de la estación depuradora compacta

Fue el primer sistema instalado en la Fundación para realizar el tratamiento de aguas residuales, dicho sistema constaba de una cámara de rejillas, reactor biológico y un sedimentador.

Cámara de rejillas:

El sistema de rejillas fue diseñado de forma circular con un diámetro de un centímetro como paso de apertura, como se aprecia en la Figura N° 5 (a).

Figura N° 5: Geometría y abertura del sistema de rejillas instaladas inicialmente.



(a)

(b)

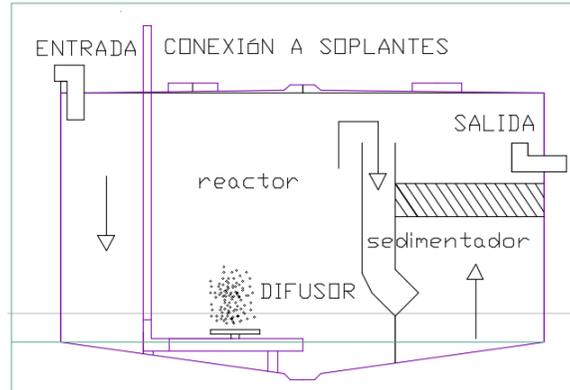
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, antes del ingreso del agua residual hacia el reactor, se contaba con una especie de tapa, Figura N° 5 (b), que iba colocada en la tubería (ϕ 90 mm) que lleva el agua desde las rejillas hasta el reactor biológico. En la operación del sistema de las rejillas se tenían problemas de obturación al paso del agua.

Reactor biológico:

El reactor biológico presenta una forma de cilindro echado, donde la altura útil es de 1.3 m (diámetro) y la longitud de 1.8 m (arista), obteniendo así un volumen útil de 2.4 m³.

Figura N° 6: Diagrama del reactor biológico y sedimentador.



Fuente: Elaboración propia

El sistema de aireación cuenta con una tubería de PVC de 50 mm de diámetro desde la soplante hasta el empalme con otra tubería de PVC de 90 mm, donde se encuentran instalados los difusores de burbuja fina (02 unidades).

En el Cuadro N° 7 se muestran los parámetros de diseño del reactor biológico:

Cuadro N° 7: Valores de parámetros de diseño considerados en del reactor biológico.

Parámetros de diseño	
Carga volúmica	0,37 kg DBO ₅ /m ³ /d
Carga másica	0,072 kg DBO ₅ /kg fg/d
Tiempo de retención en reactor	20 horas
Dimensionado	
Volumen	2.4 m ³
Necesidades de oxígeno	
Coefficiente de transferencia	2,2 kg O ₂ / DBO ₅
Calculo diario de oxígeno	1.98 kg O ₂ /d
Rendimiento mínimo	15 %
Aporte diario de oxígeno	13.2 kg O ₂ /d

Sedimentador:

El sedimentador fue diseñado con un volumen de 0.9 m^3 . Dentro del sedimentador se encuentra instalado una placa porosa a 30 cm del fondo, lo que genera una disminución del volumen útil del sedimentador.

Cuadro N° 8: Valores de parámetros de diseño considerados en el sedimentador.

Parámetros de diseño	
Tiempo de retención en decantador	4 horas
Velocidad ascensional	$0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
Dimensionado	
Volumen	0.9 m^3

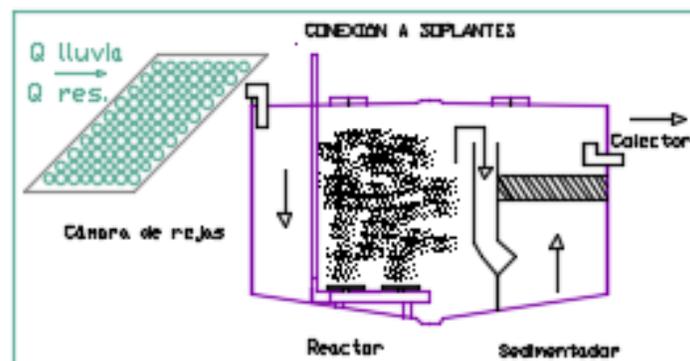
Fuente: Proyecto presentado por parte de la empresa.

El efluente del sedimentador llega a un depósito de almacenamiento con un volumen útil de 0.2 m^3 , que sirve como un tanque de almacenamiento para bombear el agua hasta el colector principal y como toma de muestra final.

En resumen, el tren de tratamiento al inicio de la instalación de la planta compacta se conformaba según la Figura N° 7 y presentaba las siguientes características:

- ✓ El caudal de ingreso estaba dado por el caudal de agua residual y el de agua de lluvias.
- ✓ El reactor biológico no contaba con un sistema de recirculación de fangos.
- ✓ El efluente del sedimentador secundario llegaba al colector.

Figura N° 7: Esquema del proyecto inicial



Instalado el sistema de tratamiento, tras un determinado tiempo, la calidad en el efluente del sedimentador no cumplía con los niveles de tratamiento requeridos por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

Debido al incumplimiento de los valores de vertidos establecidos por la CHJ, valores mostrados en el Cuadro N° 9, en el año 2011 se instaló un nuevo sistema de tratamiento.

Cuadro N° 9: Valores de resultados del efluente en el año 2009.

Resultados presentados por laboratorio externo				
Fecha	Unid.	27/04/2009	30/12/2009	Requisitos de vertido
SS	(mg/l)	70	180	35
BDO5	(mg/l)	60	200	25
DQO	(mg/l)	220	430	125

Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por personal de encargado de la EDAR.

2. Instalación del sistema físico - químico

En el año 2011 se implementó el proceso de tratamiento físico – químico para tratar el efluente del reactor biológico, que contaba con un sistema de adición de insumos, decantador lamelar y un espesador.

Sistema de adición de insumos.

En la Figura N° 8 (a) se muestran los insumos químicos utilizados, polielectrolito, sulfato de aluminio, modificador de pH y desinfectante. En la imagen de la derecha (7.b) se muestra el serpentín por donde pasaba el agua, controlando la cantidad y calidad del insumo.

Figura N° 8: Insumos y partes del proceso físico - químico



(a)



(b)

Decantador lamelar

El decantador se encuentra diseñado para un caudal de $1 \text{ m}^3/\text{hora}$ como máximo.

En la figura (c) se observa una fotografía del decantador lamelar vista desde la parte superior donde se observan las placas laminares. En la figura (d) se muestra una fotografía frontal del decantador instalado en el proyecto.



(c)



(d)

Espesador de fangos

Es un elemento donde llegan los fangos que sedimentan en el decantador lamelar a través de un bombeo. Su finalidad es estabilizar y minimizar la cantidad de fangos decantados en el proceso anterior.

El espesador cuenta con un volumen útil de 3750 l y un caudal de operación en el efluente de 180 l/h , dando así un tiempo de retención de 20 horas.

Figura N° 9: Espesador de fangos instalado en el proceso físico - químico.



(a)

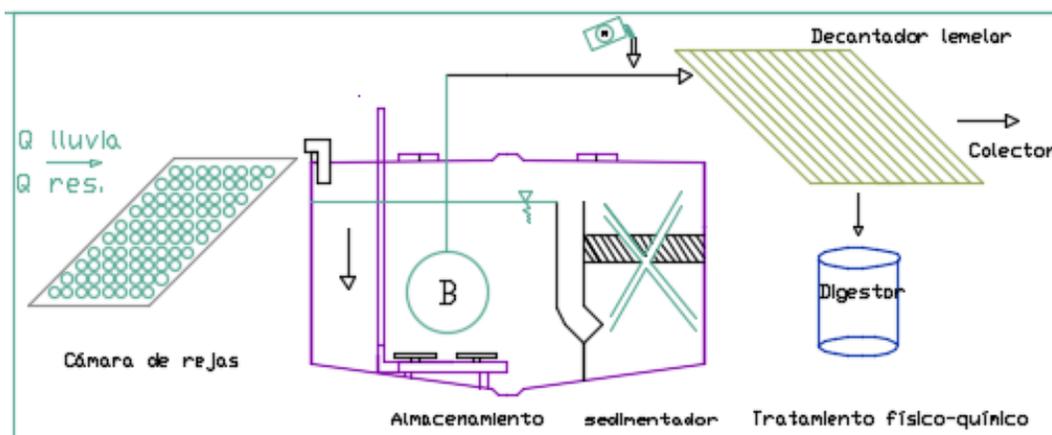


(b)

Se observan en la Figura N° 10 los cambios realizados en el tren de tratamiento, presentando las siguientes características:

- ✓ El afluente estaba compuesto por el caudal residual urbano, caudal del residuo de la osmosis inversa y el caudal de agua de lluvias.
- ✓ El reactor biológico funcionaba como un depósito de almacenamiento para el bombeo.
- ✓ El sistema de aireación dentro del reactor biológico funcionaba normalmente.
- ✓ El sedimentador se aisló y se encontraba inoperativo.
- ✓ Se instaló un sistema de bombeo desde el depósito de almacenamiento (reactor) hacia el decantador lamelar.
- ✓ El efluente del decantador lamelar se dirigía hacia el colector.

Figura N° 10: Primera modificación del proceso de tratamiento (proceso físico - químico).



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el tren de tratamiento estaba conformado por el sistema de cámara de rejillas, un depósito de almacenamiento para bombeo del agua residual (reactor biológico), el decantador lamelar, previo adición de los insumos químicos, y un espesador donde se depositaban los fangos decantados.

El proceso instalado luego de cierto tiempo de funcionamiento, empezó a presentar problemas en el decantador lamelar debido a la flotación de fangos como se puede observar en la Figura N° 11. Esta flotación complicaba la operación del sistema ya que habría que estar

pendiente de los fangos flotantes, haciéndolos sedimentar mediante una agitación con una varilla metálica y así eliminar el nitrógeno gas, causante de la flotación del fango.

Figura N° 11: Fangos flotantes en el decantador lamelar del proceso Físico-químico.



Fuente: Personal de operación actual de la EDAR

A finales del año 2014, viendo la dificultad de operación del proceso físico – químico para cumplir con los límites de vertido, sumado el costo de mantenimiento elevado (energía utilizada en las bombas, motores, inyectores, sondas, compra de insumos a dosificar), se plantea aprovechar nuevamente el sistema del reactor biológico existente con un tren de tratamiento diferente.

Es así que en enero del 2015 se dejó de prescindir lo servicios de la empresa encargada de la operación y mantenimiento del proceso físico – químico, encargándose la Fundación de realizar un nuevo tren de tratamiento de las aguas residuales a través del personal encargado de la EDAR.

3. Aprovechamiento del reactor biológico y tratamiento terciario

En esta nueva etapa se decidió volver a utilizar el sistema del reactor biológico y sedimentador, realizando algunas modificaciones en ambos componentes. Adicionalmente se aprovechó el decantador lamelar y el espesador (sin adicionar insumos), seguido de la construcción de un humedal artificial como último elemento de tratamiento.

Sistema de rejas

Las rejas iniciales tenían orificios con diámetros de apertura muy pequeños, debido a esto se presentaban problemas de obstrucción y rebose de la cámara de ingreso, causados por los sólidos de mayor tamaño que colmataban los orificios de la reja.

Por ello se cambió a unas rejas con aperturas cuadradas de mayor tamaño igual a 3.5 cm de lado. El cambio fue de mucha utilidad en la operación, debido a ellos no se presentaban problemas de obstrucción en las rejas.

Figura N° 12: Geometría y abertura de las rejas nuevas.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 12 se muestra la reja cuadrada instalada, así mismo la tubería libre por donde pasa el agua desde las rejas hacia el reactor biológico (sin la tapa inicial instalada).

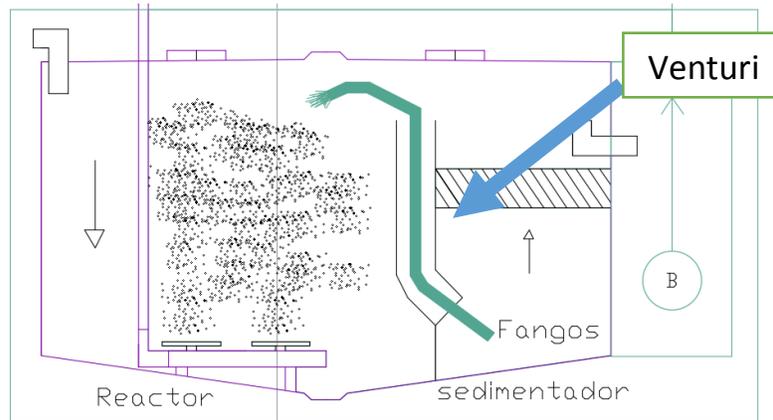
Sistema de recirculación

El efluente del reactor se da a través de un tranquilizador, tubo de PVC de 250 mm de diámetro, que se conecta con el sedimentador por la parte de abajo del tubo.

Dentro del tubo se ha introducido una tubería desde 20 cm de la base del sedimentador y sale por el mismo tubo tranquilizador hacia el reactor biológico, con la finalidad de realizar una recirculación de los fangos decantados desde en el fondo del sedimentador. Sistema denominado Venturi.

El Venturi aprovecha el sistema de aire a presión (generada por la soplante) y de esta forma generar el vacío y succionar los fangos desde el fondo del sedimentador hacia el ingreso del reactor. Siendo el control de apertura y cerrado de manera manual.

Figura N° 13: Sistema Venturi utilizado como sistema de recirculación de fangos.



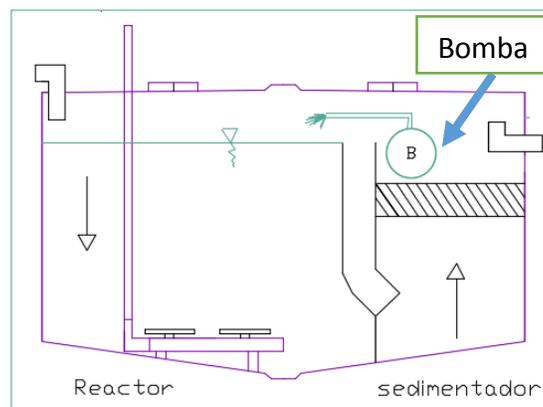
Fuente: Elaboración propia

Instalación de bomba de sobre placa porosa

Al realizar la operación del sedimentador se observó parte de los fangos en el fondo del sedimentador y otra parte en menor proporción sobre la placa porosa.

Frente a ellos se decidió instalar una bomba sobre la placa porosa que recirculará los fangos decantados, tal como se muestra en la Figura N° 14.

Figura N° 14: Sistema de bombeo sobre la placa porosa.



Fuente: Elaboración propia

Humedal artificial

El humedal artificial fue construido en julio de 2015 y resulta de 7.8 x 3 x 0.5 m de largo, ancho y alto respectivamente.

Figura N° 15: Proceso constructivo del humedal artificial.



(a)



(b)



(c)

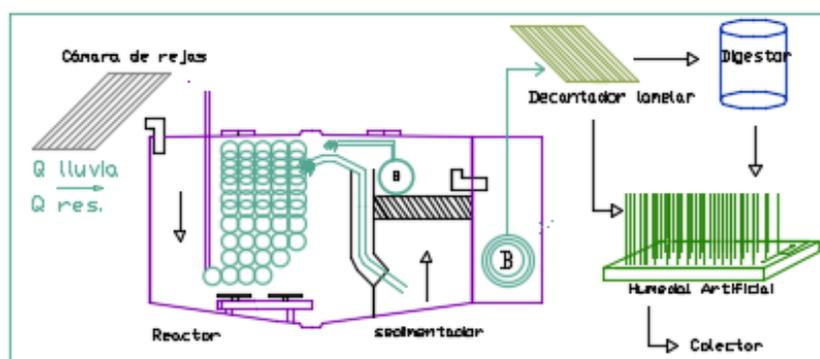
En la figura (a) se muestra la puesta de grava y la prueba hidráulica realizada, figura (b) se observa el proceso de plantación de la vegetación y en la figura (c) el crecimiento de la vegetación encontrándose dentro de ellas las Eneas (etapa en el cual se llegó a monitorear el proyecto - septiembre 2015)

En la Figura N° 16 se observa el nuevo tren de tratamiento operado con las siguientes características:

- ✓ El caudal de ingreso estaba dado por caudal de agua residual y el caudal agua de lluvias.
- ✓ Se cambió el sistema de rejas de circular a cuadrada de mayor abertura.
- ✓ Si implementó nuevamente el reactor biológico

- ✓ Se instaló un sistema de recirculación de fangos desde el fondo del sedimentador hacia el reactor (sistema Venturi).
- ✓ Se instaló una bomba sobre la placa porosa del sedimentador.
- ✓ La capacidad de la bomba presentaba una potencia excesiva en el depósito de almacenamiento del efluente del sedimentador.
- ✓ Se dejó en operación el decantador lamelar con el espesador de fangos.
- ✓ El efluente del decantador y del espesador pasan hacia un tratamiento terciario.
- ✓ Se instaló un sistema de tratamiento terciario (Humedal artificial).

Figura N° 16: Esquema del reactor biológico con el sistema terciario (humedal artificial)



Fuente: Elaboración propia

Los nuevos cambios en el tren de tratamiento fueron realizados por personal de la Fundación quienes a su vez se encargaban de la operación y mantenimiento. Para junio del 2015 ya se había habilitado el tratamiento terciario, construcción de un humedal artificial, que continuaba el proceso de tratamiento tras el decantador lamelar.

Sin embargo, los primeros días de julio se realizó el monitoreo habitual de cada año, monitoreo 02 veces al año, por una empresa certificada. Los resultados, recogidos en el Cuadro N° 10, indican que no se llegaba a cumplir con los valores de vertido impuestos por la Confederación.

Dentro de los parámetros que no se lograba cumplir al final del nuevo tren de tratamiento se encontraban la DQO con un valor de 226 mg/l, la DBO₅ igual a 51 mg/l y el amonio con una concentración igual a 60.8 mg N/l.

Cuadro N° 10: Valores obtenidos en los de monitoreos de los años 2014 y 2015.

Resultados presentados por laboratorio externo								
Fecha	30/05/14	11/09/14	13/11/14	12/12/14	23/12/15	17/06/15	01/07/15	30/11/15
pH	7.4	7.3	7.18		7.17	7.3	7.2	7.1
SS (mg/l)	16	< 2	< 2,5		12	6	17	6
BDO5 (mg/l)	2	5	6.2		4.5	13	51	47
DQO (mg/l)	50	34	26		29	19	226	73
Boro (mg/l)	0.15		0.13		0.18	0.32	0.48	
Cloruros (mg/l)	175		202		156.1	119	110	96.1
Sulfatos (mg/l)	324		241		129	459	96	74
Fosforo total (mg/l)	1.6	0.123	< 0,3		0.85	0.6	8.4	5.8
Amoniaco (mg N/l)	18.2	1.44	< 0,19		18.9	16.8	60.8	47.3
Nitrógeno (mg/l)	8.58	13.9	71.1	4.2	3.72	2.3	0.5	0.4
Aceites y grasas	<0,5		<10		<10	<0,2	0.2	
Detergentes	0.418		0.29		0.11	0.44	0.6	0.54

Fuente: Elaboración propia, información brindada por personal de fundación

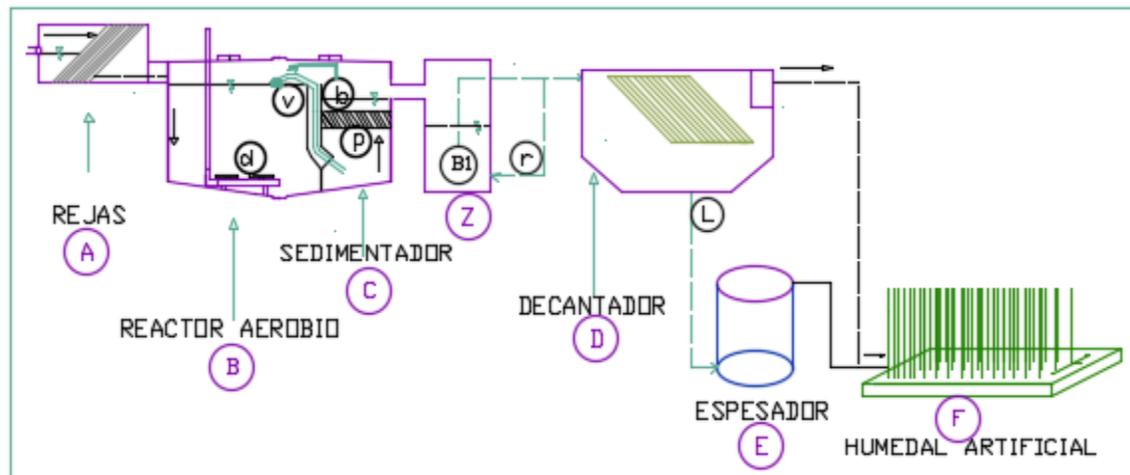
De esta manera a finales de julio empiezan las coordinaciones para realizar el diagnóstico y la evaluación de la EDAR, siendo en septiembre del 2015 que se empezó con el presente proyecto.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

DIAGRAMA DE FLUJO

En la Figura N° 17 se muestra el diagrama de flujo y procesos de tratamiento instalados al inicio de los monitoreos del presente proyecto, los cuales se describirán a continuación:

Figura N° 17: Esquema del sistema evaluado al inicio del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

A: Sistema de cámara de rejillas.

La altura entre la salida del agua problema y el fondo de la cámara de rejillas era insuficiente para tomar la muestra, dificultando la toma de muestra.

Se observó el cambio de las rejillas, pasando de una placa con orificio de 1 cm de diámetro a una rejilla cuadrada de 3.5 cm, con lo cual se evitó la obturación y el rebose del agua cuando los sólidos gruesos obstruían el paso del agua.

B: Reactor biológico.

El reactor biológico se encuentra enterrado y presenta un punto de acceso de 40 cm de diámetro.

C: Sedimentador.

El sedimentador se encontraba enterrado y presentaba un punto de acceso de 50 cm de diámetro.

D: Decantador del tipo lamelar.

E: Espesador de fangos.

F: Humedal artificial.

El caudal de ingreso al humedal es debido al efluente del decantador y del espesador de fangos, siendo el efluente del decantador el efluente que aporta la mayor parte del caudal.

Z: Depósito de almacenamiento.

El volumen del depósito de almacenamiento es de 0.2 m^3 , almacenamiento que sirve para bombear el efluente del sedimentador hacia el decantador lamelar.

d: Sistema de difusores

Dentro del reactor biológico existen 02 difusores de membrana de burbuja fina, que es abastecido de aire mediante una soplante.

V: Sistema de recirculación de fangos (VENTURI)

El reactor biológico presenta una recirculación de fangos a través de un sistema Venturi, instalado por el personal de operación de la EDAR.

El Venturi aprovecha el sistema de aire a presión (generada por la soplante) y de esta forma generar el vacío y succionar los fangos desde el fondo del sedimentador hacia el ingreso del reactor. Siendo el control de apertura y cerrado de manera manual.

El sistema Venturi funcionaba al mismo tiempo que la soplante. Sin embargo, se observó mediante unas pruebas de sólidos sedimentables en el reactor, a los 10, 20 y 30 minutos en un volumen de un litro, que no existía una gran concentración de fangos, motivo por lo que se detuvo la recirculación y se prefirió realizar el proceso de manera manual y un número de veces adecuado (proceso de prueba - error según la velocidad de sedimentación de fangos en el reactor).

No se regula el caudal de recirculación.

P: Placa porosa instalado en el sedimentador

Dentro del sedimentador existe una placa porosa, por lo que se tiene doble decantación tanto en el fondo del sedimentador como sobre la placa porosa.

b: Sistema de bombeo

Es el sistema de bombeo donde se recircula los fangos sedimentados sobre la placa porosa hacia el reactor biológico.

Bombeo (B1): Bombeo desde el depósito de almacenamiento hacia el decantador lamelar.

Se utilizaba una bomba con una potencia de bombeo demasiado grande capaz de llevar un caudal de 6 m³/h, en la Figura N° 18 se muestra la bomba instalada.

Figura N° 18: Bomba instalada en el depósito de almacenamiento (6m³/h).



Retorno (r): Retorno del caudal de bombeo.

Debido a la gran potencia de la bomba que lleva el agua desde el depósito de almacenamiento del efluente del sedimentador hacia el decantador lamelar, se realiza un retorno de caudal (alivio) hacia el depósito de almacenamiento (elemento Z de la Figura N° 17).

El retorno del caudal es el alivio de presión que viene del sistema de bombeo por el exceso de caudal bombeado, la presión con la que llega el agua al depósito es considerable (Figura

Nº 19) generando una gran turbulencia y como consecuencia se incrementa el oxígeno disuelto y rompe los flóculos presentes.

Figura Nº 19: Caudal de retorno del sistema de bombeo



Se intentó disminuir el caudal de bombeo disminuyendo el diámetro de la tubería a la salida de la bomba. Sin embargo, se obturó la tubería, debido a que antes del ingreso al decantador existe un contador de caudal (rotámetro) con un diámetro pequeño y el agua con flóculos presentes que pasaba por la tubería obturaba el ingreso del contador, ocurriendo un rebose toda el agua bombeada.

La bomba realiza doble trabajo debido a que vuelve a bombear el agua que ha regresado como alivio de presión, generando mayor consumo de energía.

L: Línea de fangos del decantador hacia el espesador.

Es la línea por donde los fangos del decantador lamelar son llevados al espesador mediante un pequeño sistema de bombeo.

4.3 ANÁLISIS DE CAUDALES

La Fundación cuenta con un suministro de agua potable mediante la explotación de un pozo, tratando el exceso de nitratos presente en la calidad del agua del pozo, mediante el proceso de osmosis inversa.

El consumo de agua viene siendo registrado a través de un medidor, registrando la medida de manera manual durante todos los días del año.

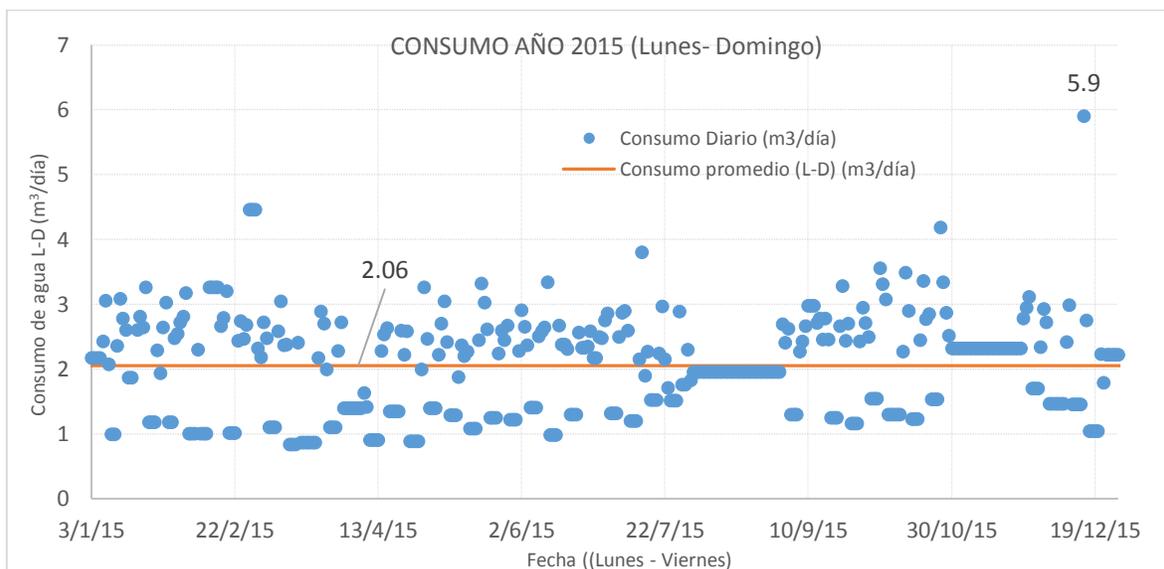
ANÁLISIS DEL CAUDAL DE DISEÑO DE LA EDAR

Para el análisis del caudal de tratamiento se describirán dos formas de cálculo: a partir del consumo promedio registrado anualmente (A) y según la dotación por habitante que le corresponde (B).

A) Por consumo anual registrado.

En la Figura N° 20 se observa la cantidad de agua consumida a lo largo del año 2015, año en el que estuvo en funcionamiento la EDAR. Sin embargo, el consumo promedio total no es representativo, ya que la población disminuye a más de la mitad los sábados y domingos.

Figura N° 20: Valores de consumo diario del año 2015.

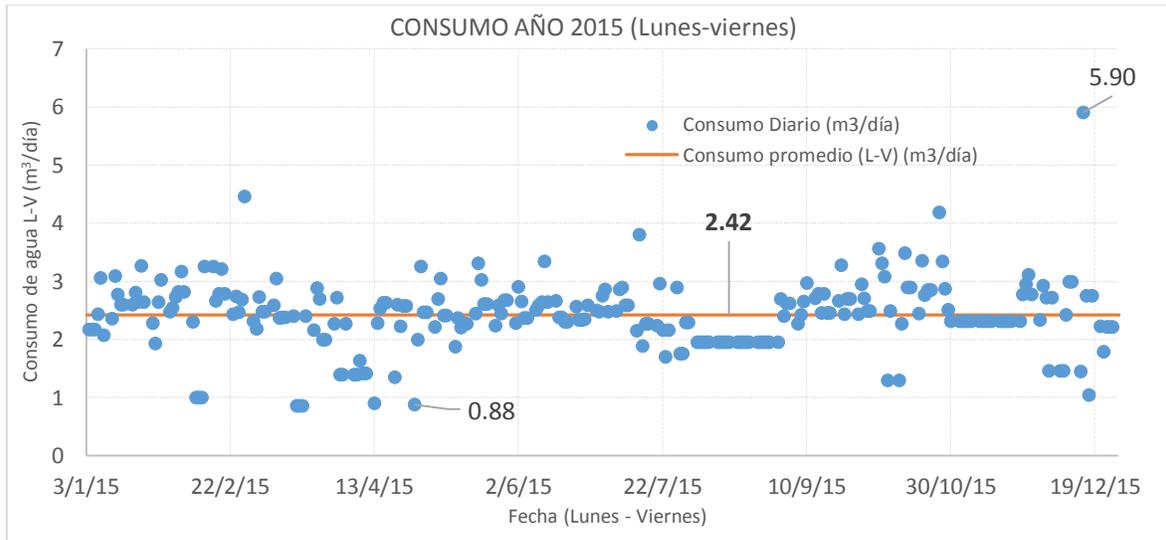


Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por personal de encargado de la EDAR.

Debido a ello ha sido necesario analizar los consumos en los días donde existen mayor número de personas, siendo estos días de lunes a viernes. De esta manera se tendrán consumos máximos.

En la Figura N° 21 se observa el caudal promedio de 2.42 m³/día, que es mayor al promedio total de 2.06 m³/día. El caudal adecuado para analizar la depuradora es 2.42 m³/día debido a que es más representativo porque es el caudal real que ingresa en esos días.

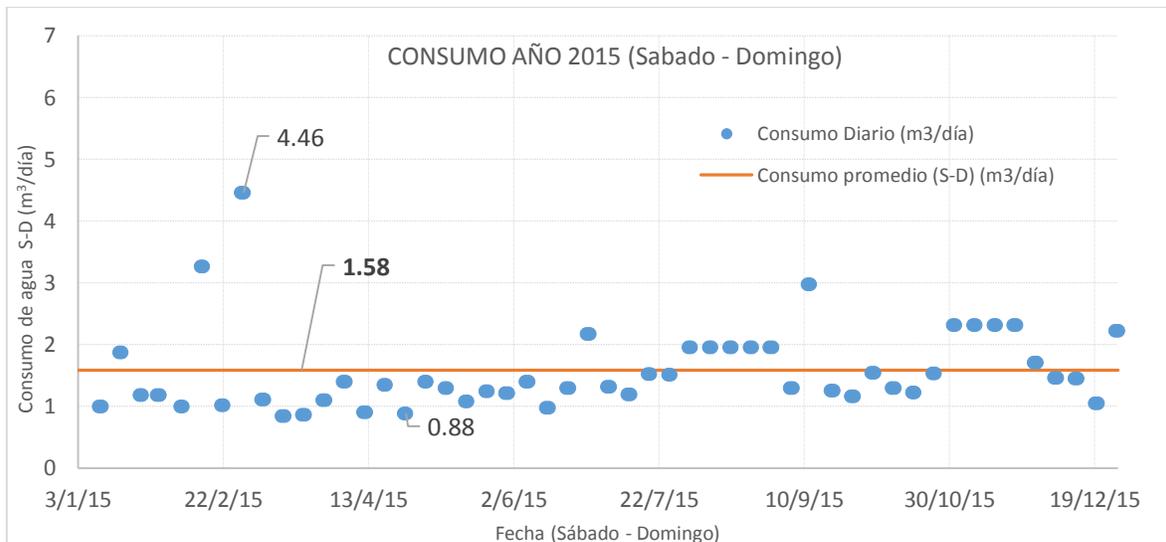
Figura N° 21: Valores de consumos de lunes a viernes del año 2015.



Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por personal de encargado de la EDAR

En la Figura N° 22 se observa que en los días sábados y domingos el caudal promedio es de 1.58 m³/día, alcanzado valores mínimos de 0.88 m³/día, de estos valores una parte se irá a la depuradora (valores que se calcularán más adelante).

Figura N° 22: Valores de consumos en los sábados y domingo del año 2015.



Fuente: Elaboración propia, datos proporcionados por personal de encargado de la EDAR

En el Cuadro N° 11 se observan valores de caudales de consumo promedio, siendo los máximos cuando existe mayor número de personas (lunes a viernes) y siendo el mínimo en

los días de sábado y domingo, de los cuales se toma como referencia el caudal promedio, máximo y mínimo.

En la práctica entre el 60 % y 85% del agua de abastecimiento se transforma en agua residual, dependiendo este porcentaje de las actividades particulares como el riego de zonas verdes, la existencia de fugas, empleo del agua en procesos productivos, etc.

Para el cálculo del caudal de agua residual en el presente proyecto se considerará un porcentaje de 85% de transformación del agua de consumo hacia el agua residual debido que no se cuenta con muchas áreas verdes de regadío y las pérdidas por fugas son casi despreciables por ser un sistema pequeño.

Cuadro N° 11: Valor del caudal residual promedio, factor punta y caudal máximo punta.

Según lo consumido anualmente		
	Lunes a viernes	sábado y domingo
Q consumo prom. (m ³ /día)	2.42	1.58
% agua desechada	85%	85
Q prom. residual (m ³ /día)	2.1	1.34
F* (Q en m ³ /h)	6.25	6.82
Q máx. EDAR (m ³ /día)	12.85	9.16

Fuente: Elaboración propia.

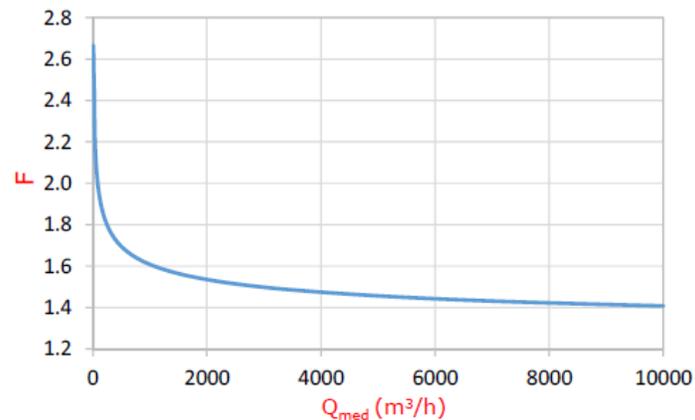
Dónde:

F*: Factor punta, calculada mediante la fórmula:

$$F = 1.15 + \frac{2.575}{Q_{med}^{1/4}}$$

El factor punta calculado como se puede observar en el Cuadro N° 11 sobrepasando los valores típicos conocidos, mostrados en la Figura N° 23, generando unos caudales máximos puntas demasiado grandes para realizar el diseño de la EDAR correspondiente (12.85 m³/día y 9.16 m³/día).

Figura N° 23: Valores típicos del factor punta según caudales obtenidos.



Fuente: Apuntes de clase.

Se muestra un ejemplo el Cuadro N° 12: Se tiene una vivienda de 7 personas con su respectivo consumo (150 l/hab/día) generan un caudal promedio de agua residual igual a 20 l/h (80% de retorno), suponiendo que en una hora de la mañana se consuma a causa de duchas, baños, cocina y lavadora, un volumen de agua de 20 litros en 10 minutos, el caudal generado es 120 l/h, por lo que el caudal promedio se ha incrementado 6 veces, es en estos casos donde los valores del factor punta (F) son valores más altos en comparación a los valores normalmente utilizados para grandes poblaciones.

Cuadro N° 12: Ejemplo del factor punta elevado para una vivienda.

Factor punta con caudales pequeños		
	Unidades	Valores
Vivienda	Hab.	7
Dotación	l/hab./día	150
Q consumo	l/h	25
Q prom. residual	l/h	20
Vol. Consumido (ejemplo)	l	20
Tiempo (ejemplo)	min	10
Q punta	l/h	120
F		6.0

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con este análisis se puede obtener el caudal promedio de agua residual que viene ingresando a la EDAR igual a 2.1 m³/día y un caudal mínimo promedio de 1.34 m³/día (Cuadro N° 11).

B) Por número de habitantes

Según las instrucciones para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento del agua, dictadas en el contexto geográfico español por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA), mostrados en el Cuadro N° 13, se considera la dotación por habitante igual a 100 l/h/día para los cálculos de caudales del agua residual.

Cuadro N° 13: Consumo según el número de personas y actividades realizadas

Población (habitantes)	Consumos urbanos en litros por habitante y día, según usos				TOTAL
	Doméstico	Industrial	Servicios municipales	Fugas de redes y varios	
Hasta 1.000	60	5	10	25	100
1.000 – 6.000	70	30	25	25	150
6.000 – 12.000	90	50	35	25	200
12.000 – 50.000	110	70	45	25	250
50.000 – 250.000	125	100	50	25	300
Más de 250.000	165	150	60	25	400

En el Cuadro N° 14 se ha calculado los caudales de agua residual promedio máximo y mínimo, así como el caudal punta, notándose nuevamente que el factor punta es muy alto por lo comentado anteriormente en el Cuadro N° 12.

Cuadro N° 14: Valor del caudal residual promedio, factor punta y caudal máximo punta, según la dotación por habitante.

Según Dotación por habitante		
	lunes a viernes	sábado y domingo
Población (hab)	24	6
Dotación (l/hab/día)	100	100
Q consumo (m³/día)	2.4	0.6
% agua desechada	85	85
Q prom. residual (m³/día)	2.04	0.51
F*	6.05	8.08
Q máx. EDAR (m³/día)	12.35	4.12

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto según el criterio de asignación de dotación por habitante, el caudal promedio de aguas residual resulta ser de 2.04 m³/día y un caudal promedio mínimo de 0.51 m³/día.

Una vez calculado el caudal promedio (máximo y mínimo) de agua residual por ambos métodos, se puede observar que los valores de consumo anual registrados ofrecen valores de caudal más ajustado y reales que llegarán a la EDAR. En el Cuadro N° 15 se muestran los valores de caudales seleccionados.

Cuadro N° 15: Valor del caudal de agua residual promedio, máximos y mínimos seleccionados.

Según lo consumido anualmente		
Q = caudal	Lunes a viernes (Q máx.)	Sábado y domingo (Q mín.)
Q consumo prom. (m³/día)	2.42	1.58
% agua desechada	85%	85%
Q prom. residual (m³/día)	2.1	1.34
F(*)	2.25	2.25
Q punta máx. (m³/día)	4.73	3.02

Fuente: Elaboración propia.

(*) Con respecto al cálculo del factor punta, se tendría que utilizar otro criterio de cálculo y/o valor más representativo y así el caudal máximo punta sea más ajustado a poblaciones pequeñas.

El factor punta indicado en el Cuadro N° 15 se ha tomado de bibliografía (Ciudades de EE.UU. Por Steel y McGhee) relacionada con pequeñas zonas residenciales.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 CRONOGRAMA, PUNTOS DE MONITOREOS Y VARIABLES DE MEDICIÓN.

Se han realizado 6 monitoreos en total, dentro de los meses de septiembre del 2015 hasta el mes de marzo del 2016 con una frecuencia mensual, mostrando los meses, fecha y hora de monitoreo en el Cuadro N° 16.

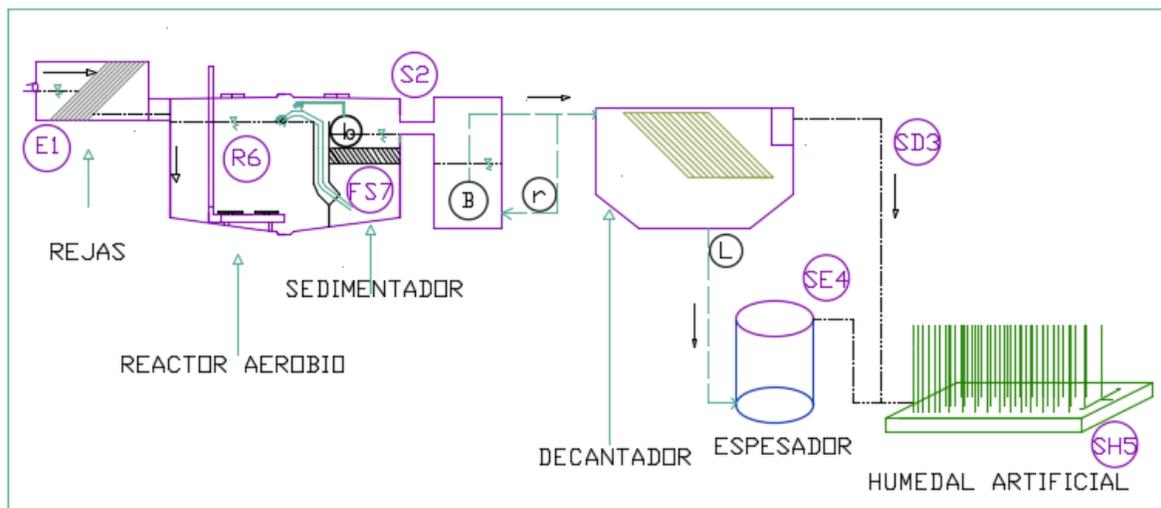
Cuadro N° 16: Cronograma de monitoreo realizado a lo largo del proyecto.

Número de monitoreo						
	1° monitoreo	2° monitoreo	3° monitoreo	4° monitoreo	5° monitoreo	6° monitoreo
Mes	septiembre	octubre	diciembre	enero	febrero	marzo
Fecha	22/09/2015	27/10/2015	15/12/2015	14/01/2016	11/02/2016	21/03/2016
Hora	10:00 a. m.	11:00 a. m.	12:00 p. m.	11:00 a. m.	12:00 p. m.	12:00 p. m.

Fuente: Elaboración propia.

Se establecieron siete puntos de toma de muestra a lo largo del tren de tratamiento del esquema mostrado en la Figura N° 24:

Figura N° 24: Esquema de puntos de monitoreo seleccionados para el proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Se ha seleccionado los siguientes puntos de monitoreo en la línea de agua:

- Punto1: Entrada cámara de rejillas (E1).
- Punto 2: Salida del sedimentador (S2).
- Punto 3: Salida del decantador lamelar (SD3).
- Punto 4: Salida del espesador de fangos del decantador lamelar (SE4).
- Punto 5: Salida del humedal (SH5).

Adicionalmente se ha seleccionado dos puntos de muestra para analizar los fangos del reactor biológico y fangos del sedimentador.

- Punto 6: Dentro del reactor biológico (R6).
- Punto 7: Fondo del sedimentador (FS7).

Entre los parámetros monitoreados en campo se consideraron:

- Oxígeno disuelto (OD).
- Temperatura (T).
- Porcentaje de Saturación (%Sat).
- Conductividad.
- Salinidad.
- Potencial de Hidrógeno (pH).
- IVF (Índice volumétrico de fango).

En cada punto se determinaron los siguientes parámetros en el laboratorio:

- Demanda biológica de oxígeno (DBO_5 y DBO_{20}) (DBO carbonosa y DBO nitrosa).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Sólidos suspendidos (SS).
- Sólidos suspendidos volátiles.
- Sólidos suspendidos no volátiles.
- Amonio.
- Turbidez.

5.2 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL LABORATORIO

1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO

La medición de las variables físico – químicas se realizó mediante un equipo de sondas manual de medición universal Multi 340; (WTW): temperatura, pH (sentf® 41), conductividad (tetraCom®) y oxígeno disuelto (cell Ox®325).

2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE LABORATORIO (ANALÍTICAS)

Las muestras se recogen en botellas de 2 L, debidamente lavadas y se transportan conservadas en frío al laboratorio, donde se mantuvieron a una temperaturas bajas (4°C) hasta su análisis, dentro de un plazo inferior a 24 horas.

Los parámetros medidos en el laboratorio fueron:

A) Sólidos totales, sólidos suspendidos y su fracción volátil:

Se procede a la extracción de un volumen determinado de la mezcla para analizar sólidos totales, entendiéndose éste como la suma de los sólidos suspendidos y los solubles. Adicionalmente se determina la fracción volátil de los sólidos totales. Esta fracción volátil corresponde a la materia orgánica particulada presente en los sólidos que continuamente están en suspensión, dadas las turbulencias provocadas por la aireación.

- Sólidos totales y volátiles (ST y STV)

El volumen extraído para analizar sólidos totales es de 100 ml, medidos con probetas de 100 ml. El volumen se coloca en una cápsula de porcelana que ha sido desecada y pesada en frío. La cápsula se lleva a la estufa de desecación, la cual se encuentra a 105° C aproximadamente, donde permanece alrededor de 24 horas para asegurar que pierde toda el agua contenida.

Tras el periodo necesario para que se evapore toda el agua contenida en las muestras, las cápsulas se extraen con los sólidos totales secos, se llevan al desecador y una vez enfriadas se pesan, y por diferencia con la anterior pesada, se calculan los sólidos totales.

Para los sólidos totales volátiles, las cápsulas con sedimento seco ya pesadas, son llevadas ahora a un horno mufla donde alcanzan una temperatura superior a los 550°C, durante 1 hora. Después de esto, se extraen las cápsulas del horno mufla, dejándose enfriar en el desecador y una vez enfriadas, se pesan. La diferencia entre el peso de la cápsula con el sedimento seco y la cápsula con el sedimento calcinado proporciona la masa de sedimento volatilizado, esto es la fracción orgánica presente.

Todo lo anterior se basa en el hecho de que la materia orgánica a temperaturas de aproximadamente 550°C se oxida formando gas carbónico y agua que se volatilizan, mientras que la mayor parte de la fracción mineral de la materia queda intacta (algunas sales minerales, como las de amonio y carbonato de magnesio también se pueden descomponer y volatilizar a estas temperaturas).

- **Sólidos suspendidos (SST y SSV)**

El volumen extraído para analizar sólidos suspendidos totales es de 100 ml (dependiendo de la concentración de la muestra analizada), que se extraen con una probeta de 100 ml. Seguidamente se realiza la filtración de la muestra con pre filtro de fibra de vidrio. El filtro (pesado anteriormente en frío) se coloca en una cápsula de porcelana que ha sido desecada y pesada en frío (anotándose el valor del peso la cápsula más el filtro). La cápsula se lleva a la estufa de desecación, la cual se encuentra a 105° C aproximadamente, donde permanece alrededor de 24 horas para asegurar que pierde toda el agua contenida. Finalmente pesar la muestra y obtener los sólidos suspendidos totales (SST)

Para los sólidos suspendidos volátiles, luego de pesar y obtener los SST, se llevan a la mufla a 550°C durante 1 hora para volatilizar la materia orgánica volátil o fracción volátil.

De esta manera, se determinan los ST, STV, SST y SSTV de las muestras analizadas. La relación de material necesario para el procedimiento descrito es:

- ✓ Probetas de 100 ml de clase A.
- ✓ Cápsulas de porcelana.
- ✓ Balanza de precisión.

- ✓ Estufa de desecación.
- ✓ Prefiltro de fibra de vidrio.
- ✓ Bomba de vacío.
- ✓ Horno mufla.
- ✓ Recipiente desecador.

B) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para la determinación de este componente, en cada situación se emplearon unos determinados test de cubetas, puesto que ello dependía del rango de lectura esperado. La DQO indica la cantidad de oxígeno procedente de dicromato potásico que, bajo las condiciones de trabajo del procedimiento indicado, reacciona con las sustancias oxidables contenidas en el agua.

- 1 mol de $K_2Cr_2O_7$ corresponde a 1.5 mol de O_2 . El test indica los resultados en mg/l de DQO (mg/l de O_2).

El método para determinar la DQO, consiste en oxidar la muestra de agua con una solución sulfúrica caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador. Los cloruros son enmascarados con sulfato de mercurio. En función del test utilizado, correspondiente a un rango, se determina fotométricamente la concentración de los iones:

- Cr^{+3} verdes, en el caso de que se utilice el test de cubeta para rangos 25 - 1500 mg/l de DQO. El procedimiento es análogo a EPA 410.4, US Standard Methods 5220D e ISO 15705.
- $Cr_2O_7^{-2}$ amarillos no consumidos, en el caso de que se utilice el test de cubeta para rangos 50 - 500 mg/l y de 4 - 40 mg/l de DQO. El procedimiento es análogo a EPA 410.4, US Standard Methods 5220D e ISO 6060.

El procedimiento consiste en la toma de muestra de 3 ml de muestra, que se introduce en las cubetas preparadas con los reactivos químicos (se usaron las cubetas del rango de lectura de 25 – 1500 mg/l) y se agita la muestra hasta uniformizar la muestra y el reactivo.

Seguidamente se lleva dicha muestra a un digestor a 148°C durante dos horas, dejar enfriar durante 10 minutos y agitar la muestra, por último dejar enfriar a temperatura ambiente durante media hora como mínimo. Finalmente realizar la medición en el espectrofotómetro.

c) Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Existen varios métodos para determinar la DBO, uno de los más usados es el método manométrico. En este método se coloca una muestra en un recipiente cerrado, donde se ha colocado una cápsula conteniendo un absorbente (e.g. NaOH) para la eliminación del CO₂ formado durante el proceso. Este recipiente se conecta con un manómetro de forma que el consumo de oxígeno queda reflejado en una disminución de la presión. Utilizando una escala adecuada en el manómetro, es posible leer directamente el valor de la DBO. La temperatura se mantiene constante a 20 °C durante todo el proceso.

Generalmente la DBO esperada se encuentra entre un 50 % - 60 % de la DQO de la muestra. El volumen de muestra a tomar depende del valor de la DBO esperado (Cuadro N° 17).

Cuadro N° 17: Selección de volúmenes según la DBO esperada.

Rangos de valores esperados de DBO y volúmenes de muestra.		
DBO esperada (mg/l)	Volumen de muestra (ml)	Factor multiplicativo
0 - 40	432	x1
0 - 80	365	x2
0 - 200	250	x5
0 - 400	164	x 10
0 - 800	97	x 20
0 - 2000	43.5	x 50
0 - 4000	22.7	x 100

Previamente a la toma del volumen de muestra, debe comprobarse que el pH se encuentra dentro del intervalo 7 – 9, que es el adecuado para que se desarrollen los microorganismos. En caso de que no esté en este intervalo habrá que acidificar o basificar según sea el caso con NaOH (20 g/L) o HCl 0.5 M.

Si la muestra que se quiere analizar no es de agua residual doméstica, habrá que sembrarla, esto es, añadir 0,1 ml de fango/l de muestra. Esto se hace con el objetivo de que en el agua existan los microorganismos necesarios para que tenga lugar la degradación de la materia orgánica. Se llenan las botellas perfectamente limpias con el volumen de muestra seleccionado. Es conveniente tomar al menos dos volúmenes distintos de muestra para evitar que la medida se salga de escala por haber previsto un valor inferior al de la muestra.

A continuación se añaden las sales para proporcionar nutrientes a los microorganismos. La proporción en la que deben añadirse es:

- ✓ Sulfato de magnesio: 0.1 mL.
- ✓ Cloruro cálcico: 0.1 mL.
- ✓ Cloruro amónico: 0.1 mL.
- ✓ Cloruro férrico: 0.1 mL.
- ✓ Fosfatos: 0.5mL

Una vez sembradas y añadidos los nutrientes a las muestras, se colocan las botellas en el DBOmetro y se dejan durante unos minutos (aproximadamente 30) para que se estabilicen a la temperatura de 20 °C.

Debe tenerse en cuenta que durante el proceso de degradación también se produce CO₂. Con objeto de que éste no afecte en el valor de la DBO, se utiliza NaOH o LiOH que se coloca en los tapones. En el caso de utilizar NaOH se colocan 2 o 3 lentejas. La cantidad de hidróxido que se utiliza es de 0.25 g/l de muestra (8 cucharaditas). Si el reactivo utilizado es LiOH·H₂O se utilizan 0.437 g/l (13 cucharaditas).

Por último, se tapan las botellas herméticamente con los cabezales manométricos, se enrasan los manómetros de mercurio a cero y se toma la lectura del controlador con una frecuencia diaria.

Finalmente los resultados:

El valor de la DBO determinado, corresponde a la lectura manométrica a los 5 días (DBO₅), o a los 20 días (DBO límite) multiplicado por el factor de dilución en el caso de que ésta se

haya hecho (prestar atención a las posibles modificaciones de las características del agua debido a la dilución).

Debe seguirse la lectura del manómetro todos los días, comprobando que los valores siguen la tendencia esperada y con los resultados obtenidos construir la gráfica.

Si se han realizado varias medidas de una muestra dada, el resultado final será la media aritmética de los distintos resultados, siempre y cuando no hayan motivos para considerarlos como no válidos (valores muy dispersos, el valor de la DBO no crece de forma continua con el tiempo, etc.).

Con el valor de la DBO a diferentes tiempos se puede obtener el valor de la constante de velocidad del proceso, k , a la temperatura de 20 °C, y así estimar el valor de la DBO_{lim} sin tener que esperar los 20 días.

Es preciso señalar que en el presente estudio se ha realizado la DBO sin utilizar la tiurea para inhibir a las bacterias nitrificantes, por tanto se obtendrán los resultados del consumo de oxígeno por parte la degradación de la materia orgánica carbonosa y nitrosa.

Por lo tanto, los valores obtenidos (DBO_5) no podrán ser empleados como valores válidos según las referencias de mediciones estándar. Sin embargo, para el proyecto es importante conocer el consumo de oxígeno de las bacterias encargadas en degradar la materia orgánica carbonosa, así como el consumo de oxígeno de las bacterias nitrificantes encargadas de la degradación de la materia orgánica nitrosa.

En conclusión, se conocerá la demanda de oxígeno total de la degradación de la materia orgánica total. A partir de ello se encontrará la DBO carbonosa y la DBO nitrosa. El método de cálculo se describe en el Capítulo 5.3 – apartado f)

El material necesario para la determinación de la prueba es:

- ✓ DBOmetro.
- ✓ Botellas de incubación.
- ✓ Tapones de caucho con receptáculo para el hidróxido.
- ✓ Agitadores magnéticos.

- ✓ Pipetas.
- ✓ Matraces truncados.
- ✓ pHmetro.

Los parámetros analizados en cada una de las muestras, así como los métodos utilizados, se recogen en el Cuadro N° 18:

Cuadro N° 18: Métodos seleccionados para la determinación de parámetros en el laboratorio.

Metodología de medición			
Parámetro medidos en laboratorio	Método	Intervalo de medida	Desviación estándar
Materia orgánica total (DQO)	ISO 15705	4 -150 mg O ₂ L ⁻¹	± 1.2 mg O ₂ L ⁻¹
Materia orgánica biodegradable (DBO)	UNE 77004		
Nitrógeno amoniacal (NH₄⁺)	ISO 7150/1	0.01 - 3.00 mg N L ⁻¹	± 0.024 mg N L ⁻¹
Sólidos suspendidos totales (SS)	UNE-EN 872		
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	UNE 77034		
Turbidez	Turbidimetría (Eutech 200)	1 - 100 FAU	

D) Medición de caudales

La medición de caudales en la salida de algunos componentes se ha determinado mediante el método volumétrico, que consiste en el llenado de un recipiente tomando el tiempo de llenado de un determinado volumen.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

V: Volumen de la cantidad de agua llenada en el recipiente (l).

T: Tiempo de llenado del volumen de agua en el recipiente (s).

Q: Caudal de llenado o salida del componente aforado (l/s).

5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN: PARÁMETROS A CALCULAR

A continuación se muestra el análisis y formas de calcular de parámetros considerados en el proyecto como por ejemplo: el tiempo de retención celular, carga másica, índice volumétrico de fango, constantes cinéticas de biodegradabilidad de la materia orgánica carbonosa y del proceso de la nitrificación.

a) *Tiempo de retención celular (TRC)*

$$\Theta \text{ (día)} = \frac{V * Xt_{ss}}{Q_p * Xt_{ssp}}$$

Donde:

V: Volumen del reactor biológico (m³).

Xt_{ss}: Concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor (mg/l).

Q_p: Caudal de purga en el sedimentador (m³/día).

Xt_{ssp}: Concentración de sólidos suspendidos totales en la purga (mg/l).

TRC (Θ): Día.

b) *Relación de fangos a recircular (r)*

$$r = \left(1 - \frac{\Theta h}{\Theta c}\right) * \left(\frac{X_{reactor}}{X_{recir} - X_{reactor}}\right)$$

Donde:

Θh: Tiempo de retención hidráulico (días).

Θc: Tiempo de retención celular (días).

X reactor: Concentración de sólidos totales en el reactor (mg/l).

X recirculación: Concentración de sólidos totales en el sedimentador (mg/l).

c) *Caudal de fangos a recircular (Qr)*

$$r = \frac{Q \text{ recirculación}}{Q \text{ entrada}}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/día).

r: Relación de fangos a recircular.

d) Índice volumétrico de fangos (IVF)

$$IVF = \frac{V(30)}{X_{tss}}$$

Donde:

V (30): Volumen ocupado luego de 30 minutos de sedimentación en una probeta de un litro (ml/l).

X_{tss}: Concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor biológico (g/l).

IVF: ml/g.

e) Carga másica (C_m)

$$C_m = \frac{Q * DBO_5}{V * X_{tss}}$$

Donde:

V: Volumen del reactor biológico (m³).

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno al quinto día en la entrada (kg/l).

Q: Caudal de ingreso al reactor (m³/día).

X_{tss}: Concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor (kg/l).

C_m: kg DBO₅/kg SST Día.

f) Constante de biodegradabilidad de la materia orgánica

En el proyecto se calculará la constante de biodegradabilidad carbonosa y la constante de velocidad del proceso de la nitrificación. En el proceso de cálculo se podrá conocer los valores de la DBO_{lim} carbonosa, la DBO₅ y por último la DBO_{lim} nitrosa.

Los pasos para el cálculo de las constantes (k) de biodegradabilidad de la materia orgánica carbonosa se realizó de la siguiente manera:

1) *Constante de biodegradabilidad carbonosa (k carbonosa).*

La determinación de la constante se explicará mediante un ejemplo:

Se tienen los siguientes valores de DBO obtenidos en el laboratorio, Cuadro N° 19, para realizar el ejemplo de cálculo de la constante biodegradabilidad carbonosa.

Cuadro N° 19: Valores de DBO total obtenidos en el laboratorio.

Valores DBO total día 20		Valores DBO carbonosa seleccionados			
t (día)	DBO total Experimental	t (día)	DBO carb. seleccionada	Ecuación proyectada	Consumo de la m. orgánica carbonosa
1	69	1	69	73	208
2	122	2	122	121	160
3	155	3	155	149	132
4	172	4	172	169	112
5	183	5	183	184	96
6	192	6	192	197	83
7	201	7		208	73
8	229	8		217	64
9	291	9		225	55
10	353	10		232	48
11	370	11		239	41
12	375	12		245	35
13	381	13		250	30
14	387	14		256	25
15	387	15		260	20
16	387	16		265	15
17	387	17		269	11
18	387	18		273	7
19	387	19		277	4
20	387	20	DBO _{lim Carb.}	280	0

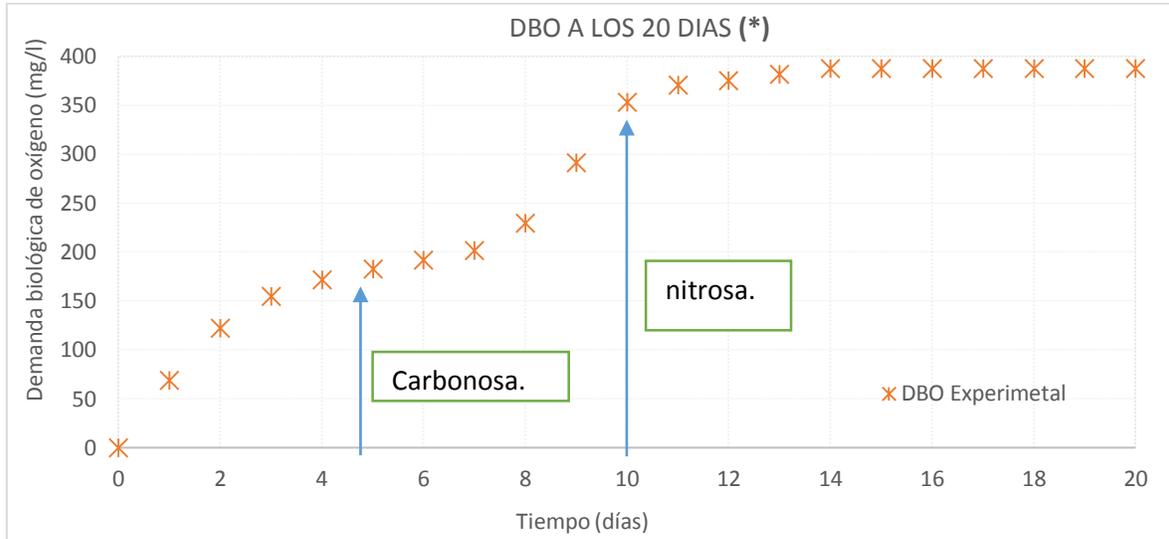
Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del laboratorio la muestra E1, primer monitoreo.

Se realizaron los siguientes pasos:

- ✓ Se realizó la gráfica de los valores obtenidos en el DBO metro a los 20 días (Figura N° 25).
- ✓ Observar adecuadamente las siluetas o formas características de ambos consumos de materia orgánica (carbonosa y nitrosa).

- ✓ Se elige los valores que representarán a la DBO carbonosa. En el caso del ejemplo se puede elegir los valores hasta los días 5 o 6, Cuadro N° 19.

Figura N° 25: Consumo del oxígeno disuelto sin inhibidor de bacterias nitrificantes.



Fuente: Elaboración propia.

(*) Valores reales obtenidos en el monitoreo N°1, punto de entrada (E1).

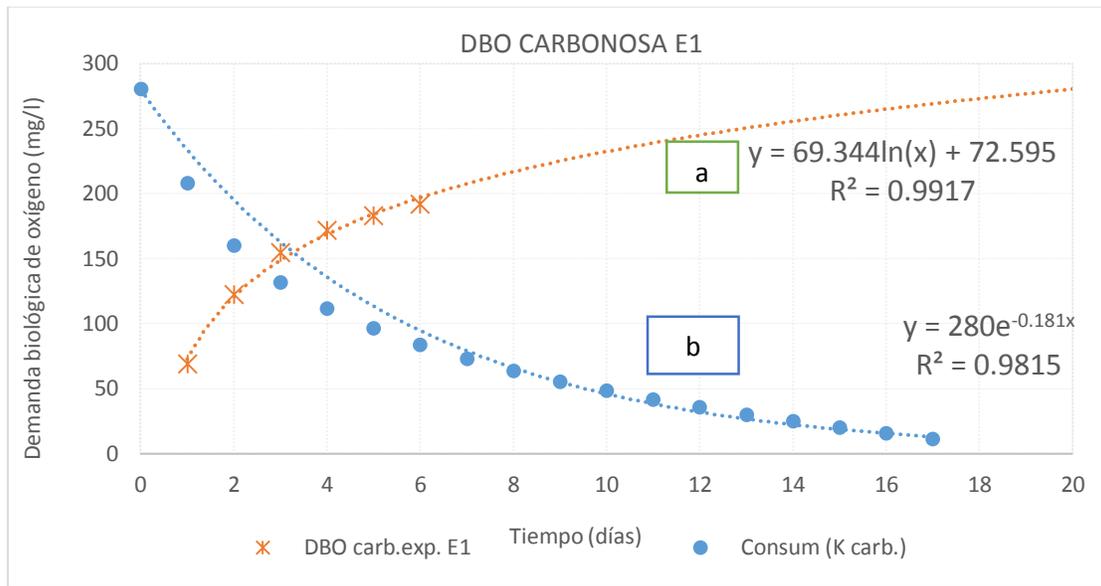
- ✓ Se grafica sólo la curva de la DBO carbonosa (valores elegidos) y se proyecta la curva hasta el día 20, obteniéndose una ecuación con la cual se podrá determinar la DBO₅ y DBO_{lim} carbonosa como se muestra la Figura N° 26 (a).

Para el ejemplo:

$$y = 69.344 \ln(x) + 72.595$$

$$R^2 = 0.9917$$

Figura N° 26: Consumo del oxígeno disuelto y consumo de la materia orgánica carbonosa.



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Una vez conocido el consumo de oxígeno total al día 20 de la materia orgánica carbonosa, se restará la DBO_{lim} carbonosa menos la DBO en el 1° día, 2° día, 3° día.....20° día. Representando la gráfica del consumo de la materia orgánica, Figura N° 26 (b), en función del oxígeno consumido. Teniendo la forma de:

$$Y(t) = DBO_{lim\ carb} * e^{-kt}$$

Y (t): Concentración de la materia orgánica carbonosa en el tiempo t.

K: Constante de biodegradabilidad de la materia orgánica carbonosa.

t: Tiempo en el cual se desea conocer la materia orgánica carbonosa restante.

Para el ejemplo sería:

$$Y(x) = 280e^{-0.181x}$$

$$R^2 = 0.9815$$

Donde:

$$Y(t) = Y(x)$$

$$K = 0.181$$

- ✓ El valor obtenido de k corresponde a valores de laboratorio (20°C). Motivo por el cual se tendría que realizar la corrección a la temperatura de campo al que se encontraba la muestra., mediante la fórmula que se plantea a continuación:

$$k(T) = k(20^{\circ}\text{C}) * \theta^{(T-20^{\circ}\text{C})}$$

Donde:

K (20°C): Constante de biodegradación obtenida en el laboratorio a 20°C .

Θ : Constante de oxigenación (1.047).

T: Temperatura medida en campo ($^{\circ}\text{C}$).

Para el ejemplo:

$$k(23.6^{\circ}) = 0.181 * 1.047^{(23.6-20)}$$

$$k(23.6^{\circ}) = 0.214$$

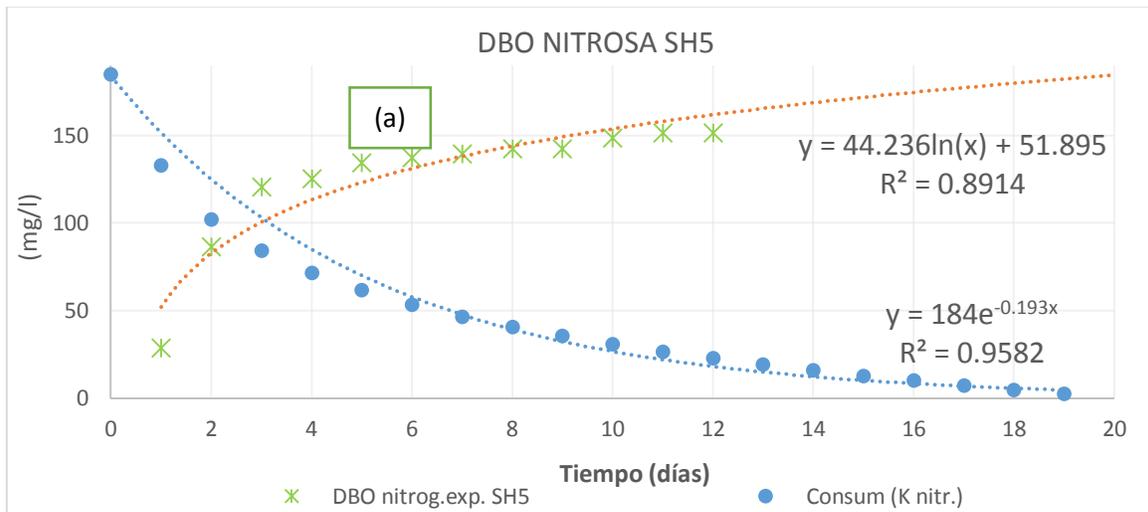
- ✓ Encontrándose finalmente el valor de la constante de biodegradabilidad de la materia carbonosa, en las condiciones de la propia planta.

2) Constante de nitrificación (K nitrificación)

Al obtener la DBO total al día 20 en el laboratorio y la DBO carbonosa límite (calculada y manteniéndolo constante), se puede calcular la DBO nitrosa. Mediante una diferencia entre ambas, obteniendo de ésta manera la curva (a) de la Figura N° 27.

Tras realizar la diferencia, los pasos para encontrar la constante k de nitrificación, son similares a los pasos a seguir de la constante K carbonosa. Mostrándose a continuación otro ejemplo, la muestra fue del punto de la salida del humedal (SH5) representado en la Figura N° 27.

Figura N° 27: Consumo del oxígeno disuelto y consumo de la materia orgánica nitrosa.



Fuente: Elaboración propia.

Curva del consumo del oxígeno disuelto por parte de las bacterias nitrificantes:

$$y = 44.236\ln(x) + 51.895$$

$$R^2 = 0.8914$$

Curva del consumo de la materia orgánica nitrosa:

$$y = 184e^{-0.193x}$$

$$R^2 = 0.9582$$

Siendo la k de proceso de nitrificación igual a 0.193 d^{-1} a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

La k de nitrificación corregida a $17.9 \text{ }^\circ\text{C}$ y con un parámetro de corrección de temperatura igual a 1.059 para la materia orgánica nitrosa, presenta un valor igual a 0.171 d^{-1} , notándose que es un valor menor al encontrado en la ecuación debido a que la temperatura está por debajo de 20°C y disminuye la capacidad de las bacterias nitrificantes.

Cabe mencionar que en el proyecto se han realizado los cálculos de las constantes de biodegradación y de nitrificación en los puntos de entrada (E1), salida del sedimentador (S2) y salida del humedal (SH5), en cada uno de los monitoreos realizados (6 monitoreos).

g) Carga superficial de fangos en el sedimentador

$$C_s = \frac{Q_a}{A}$$

Donde:

Cs: Carga superficial.

Qa: Caudal del sobrenadante del decantador (m³/día).

A: Superficie de la planta del sedimentador (m²).

h) Carga de sólidos en el sedimentador

$$C_{sol} = \frac{Q_a * X_{sstr}}{A}$$

Csol: Carga de sólidos.

Qa: Caudal de entrada al sedimentador (m³/h).

Xsstr: Concentración de sólidos en el reactor (mg/l).

A: Área del sedimentador (m²).

6. RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO

El primer monitoreo se realizó el día 22 de septiembre del 2015, llegando a la EDAR a las 11:00 horas de la mañana, realizando el reconocimiento de todas las instalaciones de la EDAR. Se describió la ubicación, características y funcionamiento de los mismos, luego de ellos se procedió a la toma de muestras de los puntos descritos en el apartado anterior.

6.1.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar el diagnóstico antes de realizar el monitoreo se pudo observar:

a) Reactor biológico:

La soplante funciona durante una 1 h con 25 minutos, tiempo donde ocurre la aireación y luego se detiene 5 minutos. Teniendo un ciclo de 1 hora con 30 minutos entre parada y arranque.

b) Sedimentador:

La bomba instalada sobre la placa porosa funciona 02 veces al día durante 5 minutos, regresando la cantidad de fangos sedimentados en la placa porosa al reactor.

El sistema Venturi funcionaba al mismo tiempo que la soplante. Sin embargo, se observó mediante unas pruebas de sólidos sedimentables en el reactor, a los 10, 20 y 30 minutos en un volumen de un litro, que no existía una gran concentración de fangos, motivo por lo que se detuvo la recirculación y se prefirió realizar el proceso de manera manual y un número de veces adecuado (proceso de prueba - error según la velocidad de sedimentación de fangos en el reactor).

c) Decantador lamelar

La mayor cantidad del afluente del decantador lamelar sale por el efluente del mismo hacia el humedal artificial, la otra parte (mínima) pasa hacia el espesador de fangos.

d) Espesador de fangos

Luego de los 29 minutos del bombeo del agua hacia el afluente del decantador lamelar, se activa la bomba que impulsa los fangos del decantador hacia el espesador durante 10 segundos.

e) Humedal

Se pudo observar que no funcionaba una de las tres entradas al humedal y se habilitó en ese mismo instante.

Lo que puede ocasionar, al no estar habilitado un ingreso, es la generación de zonas muertas en el humedal y parte de él no funciona, disminuyendo así la eficiencia en el tratamiento.

6.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro N° 20. Donde se muestra los puntos de monitoreo de manera ordenada según la línea de agua seguida.

Cuadro N° 20: Resultados del monitoreo N°1 (22/09/2015), parámetros en los 05 puntos de monitoreo

PARÁMETRO	UNID.	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	3.4	6.8	4.7	0.4	2.2
%SAT.	%	40.6	83.6	56.1	4.0	26.4
T	°C	23.6	25.2	23.6	23.0	25.6
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	872	1268	1315	1548	1321
SALINIDAD	g/l	0.2	0.4	0.5	0.6	0.5
pH		8.3	7.6	7.2	6.9	6.9
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO	mgO ₂ /l	387 (*)	387(*)	387 (*)	187 (*)	187 (*)
DQO	mgO ₂ /l	407	419	401	297	229
SS	mg/l	95	182	230	45	15
SSV	mg/l	82	159	192	43.5	6
SSNV	mg/l	13	23	38	1.5	9
%SSNV	%	14	13	17	3	60

Fuente: Elaboración propia.

(*) Los valores obtenidos de DBO sobrepasaron los rangos de sembrado esperados que fueron de 0 – 400 mg/l para E1, S2, SD3 y de 0 - 200 mg/l para los puntos de SE4 y SH5, modificando los rangos para el siguiente monitoreo.

Con respecto a la relación entre la DBO₅ y la DQO en la entrada (E1) se encuentra en un rango de degradabilidad alta (0.45), lo que indica que en ese instante no ingresa material inorgánico difícil de biodegradar al reactor. Sin embargo, la relación de degradabilidad al ingreso del humedal es de 0.18, resultando poca biodegradable. Cabe la posibilidad que se hayan vertido aguas de lavado de las herramientas del taller que contiene acetato de polivinilo y que resultan difícil de biodegradar.

Cuadro N° 21 : Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO₅ y DBO lim. Nitrosa.

PARÁMETRO	UNID.	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. Carb.	mgO ₂ /l	280	122	98	63.4	41.1
DBO ₅	mgO ₂ /l	184.2	71.4	74.7	54.6	29.1
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	129	279	289.3	123.9	228.3

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los resultados obtenidos en la salida del humedal (SH5) el valor de la DQO es elevada (229 mg/l), Cuadro N° 20. La DBO₅ es ligeramente mayor al valor impuesto por confederación (29.1 mg/l), Cuadro N° 21, y la relación entre ambas es de 0.13 lo que indica una calidad de baja degradabilidad. A diferencia, el valor de los sólidos suspendidos es muy bueno (15 mg/l) cumpliendo con la normativa.

Los SS en la salida del decantador lamelar (SD3) es muy elevada (230 mg/l), esto es debido a que los flóculos se rompen antes del ingreso al decantador, por el alivio de presión de bomba en el depósito de almacenamiento, generando una mala decantación de los sólidos suspendidos dentro del decantador.

Sin embargo, el humedal es capaz de remover la cantidad de sólidos que ingresan, eliminando una concentración adecuada para el vertimiento (15 mg/l).

Es positivo que al humedal ingrese oxígeno disuelto (4.7 mg/l, oxígeno disuelto en la SD3), debido a que se necesitará transferir menor cantidad de oxígeno por parte de las plantas que luego aprovecharán los microorganismos que se encuentran adheridos a la grava para degradar la materia orgánica.

En el Cuadro N° 22 se observa el análisis de los parámetros dentro del reactor, obteniendo valores del oxígeno disuelto muy bajos (0.1 mg/l). Dicho valor se encuentra por debajo del valor recomendado en este componente (2 mg/l), por lo que el sistema de aireación se encuentra en déficit o podría ser que la forma de inyectar el oxígeno se está dando de una manera inadecuada.

La concentración de los sólidos suspendidos totales en el reactor son relativamente bajos (2164 mg/l), no se encuentra dentro de los valores de diseños recomendados 3000 – 6000 mg/l, lo ideal sería incrementar esta concentración realizando una mayor recirculación de fangos desde el sedimentador y tener menor carga másica.

El índice volumétrico del fango muestra una calidad de la sedimentabilidad del fango muy buena (90.2 ml/g) siendo el rango óptimo para una oxidación total de 75 - 100 ml/g.

Cuadro N° 22: Resultados del monitoreo N°1, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR (6)	SEDIMENTADOR (7)
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	0.1	-
T	°C	24.9	-
%SAT.	%	-	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	1215	-
SALINIDAD	g/l	0.4	-
pH		7.4	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	2164	13469
STV	mg/l	1535	10867
STNV	mg/l	629	2602
%SSNV	%	29%	19%
SS	mg/l	1774	11615
SSV	mg/l	1444	9512
SSNV	mg/l	330	2104
%SSNV	%	19	18
IVF	ml/g	90.2	-
TRH	h	27	1.7

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 23 se puede observar que el TRH con el que viene trabajando el sedimentador es mucho menor al TRH proyectado (4 horas). Debido a ello, los fangos que

pasan del reactor no permanecen el tiempo suficiente para decantar y escapan en el efluente.

Adicionalmente el caudal medido en el efluente del sedimentador ($0.53 \text{ m}^3/\text{h}$) suele incrementarse, con la cual disminuiría aún más el tiempo de retención.

Cuadro N° 23: Cálculo de TRH del sedimentador

Tiempo de retención real		
Parámetro	unidad	Valor
Q medido	m^3/h	0.53
Volumen real	m^3	0.60
TRH campo	h	1.1
TRH diseño	h	4

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del funcionamiento y el análisis de los resultados, se proporcionan las siguientes actuaciones a fin de mejorar el funcionamiento del sistema:

1. Romper la placa porosa que se encuentra dentro del sedimentador así incrementar el volumen útil y bajar la bomba que se encuentra sobre ella hasta el fondo del sedimentado y controlar mejor la recirculación de fangos.
2. Se analizó el reactor biológico con un tiempo de retención celular de 15 días con la finalidad de incrementar la concentración de sólidos en el reactor.

En el Cuadro N° 24 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de esta manera el reactor pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 15 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 25.7 l/día .

Cuadro N° 24: Cálculo de la producción de fangos.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=15	Volumen (m3)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 1	2.4	2164	25.7	13469	15	346

Se calculó el caudal de recirculación para obtener un tiempo de retención de 15 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 25.

Cuadro N° 25: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular							
Volumen (m ³)	Q entrada (m ³ /día)	SST reactor (mg/l)	SST (mg/l) sedimentador	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recirc.	Qrecir. (l/día)
2.4	2.1	2164	13569	1.14	15	0.18	368

La cantidad de fangos a recircular será mientras se mantenga dicha concentración en el sedimentador, la cual más adelante resultará de menor valor debido a que se tendrá llegar al rango de 6000 – 8000 mg/l.

La medición del caudal de recirculación del Venturi (Cuadro N° 26) a llave abierta fue de 2800 ml en 10 segundos, lo cual generó un caudal de 1.01 m³/h, en la segunda medición se obtuvo 2800 ml en 9 segundos, obteniéndose un caudal de 1.12 m³/h.

Cuadro N° 26: Cálculo del caudal máximo de recirculación del Venturi.

Caudal de recirculación del Venturi a válvula abierta			
V llenado 1 (ml)	2800	Tiempo 1 (s)	10
V llenado 2 (ml)	2800	Tiempo 2 (s)	9
Volumen prom.	2800	Tiempo prom.	9.5
Q prom. (l/h)		1061	

Con el caudal del Venturi (1061 l/h) y la cantidad necesaria de fango a recircular (368 l/día), es necesario una recirculación durante 21 minutos en un día, de esta manera conseguir el tiempo de retención celular de 15 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

3. Existe la posibilidad que el sedimentador esté lleno, por lo tanto era necesario evacuar los fangos, al menos unos 500l.
4. Según el cálculo del caudal de purga, se debe de retirar 25 litros de fangos por día para mantener la concentración deseada en el reactor.

Se ha comentado estas recomendaciones al encargado de la EDAR para su implementación y luego volver a realizar el segundo monitoreo y ver la evolución de la EDAR.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SEGUNDO MONITOREO

6.2.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

a) Reactor biológico:

El reactor contaba con muy poca cantidad de fangos, estaban muy diluidos, en ningún momento ocurrió sedimentación, por lo que no se pudo realizar la prueba de IVF.

b) Sedimentador:

No se logró retirar la placa porosa.

La bomba que recircula los fangos sedimentados sobre la placa porosa funciona 02 veces al día, una por la madrugada a las 3:00 am y otra a las 12:00 del mediodía durante 5 minutos.

c) Sistema de recirculación (Venturi):

Se realizó la medición del caudal mínimo de recirculación del sistema Venturi por lo que la recirculación se mantuvo a caudal mínimo (900 l/día). Sin embargo, el sedimentador se quedaba sin fangos decantados y recirculaba prácticamente la misma concentración del efluente del reactor.

La acción tomada fue disminuir el tiempo de recirculación y el número de veces de apertura del Venturi (3 a 4 minutos de recircular dos veces al día).

En los primeros cálculos se tendría que recircular a válvula abierta durante 24 minutos, pero con la placa ya cortada.

d) Decantador lamelar

No decantaba los fangos que salían del sedimentador debido a que seguían ingresando los flóculos rotos a causa del alivio de presión que se inyectaba en el depósito de almacenamiento.

e) Humedal

Se mantenía el olor característico del primer monitoreo

6.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores del segundo monitoreos se pueden observar en el Cuadro N° 27.

La relación de degradabilidad (DBO_5/DQO) del agua de entrada (E1) es de 0.57 (biodegradable), lo que indica que en ese instante ingresa poco material inorgánico difícil de biodegradar al reactor y con respecto al afluente del humedal es de 0.16 siendo este último poco biodegradables, indicando menor biodegradabilidad.

Cuadro N° 27: Resultado del monitoreo N°2 (27/10/2015), parámetros en los 05 puntos de monitoreo.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	4.1	2.37	5.1	0.93	1.25
T	°C	21	21	20.4	17.8	17.9
%SAT.	%	45.46	26.9	54.1	9.4	13.3
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	551	8.52	932	1522	1148
SALINIDAD	g/l	0	0.2	0.2	0.6	0.4
pH		8.02	7.15	7.36	6.96	6.99
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO (*)	mgO ₂ /l	393.3	181.3	218.3	139.3	204.3
DQO	mgO ₂ /l	417	166	152	247	98
SS	mg/l	53.5	91.5	60	37	13.5
SSV	mg/l	43.6	75.6	47	33	13.5
SSNV	mg/l	9.9	15.9	13	4	3.5
%SSNV	%	19	17	22	11	26

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la DQO (98 mg/l) y sólidos suspendidos (13.5 mg/l), Cuadro N° 27, cumplen con la normativa de vertido impuesto por confederación. Sin embargo, la DBO_5 aún no logra estar dentro de estos límites (31.1 mg/l), Cuadro N° 28.

Cuadro N° 28: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. Carb.	mgO ₂ /l	356	62.5	28.1	63.3	53
DBO ₅	mgO ₂ /l	238	37.7	25.2	61.1	31.1
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	56.7	134.6	190.2	76.3	184.7

Fuente: Elaboración propia.

En este muestreo se observó en la superficie del sedimentador una gran cantidad de fangos flotantes que no eran posibles recircularlos al reactor, debido a que la bomba se encuentra exactamente sobre la placa y no es capaz de impulsar los fangos del sobrenadante.

En el Cuadro N° 29 se observa que el oxígeno disuelto en el reactor se encuentra sobre los valores recomendados (3.8 mg/l), a diferencia del primer monitoreo que se encontraba por debajo de ello (0.1 mg/l). Esto es debido a la baja concentración de sólidos encontrados en el reactor. Por lo que la aireación es buena pero no existe suficiente cantidad de microorganismos que la aprovechen.

No se realizó el IVF, debido a que los fangos no llegaron a sedimentar.

Como se ha mencionado anteriormente la cantidad de sólidos en el reactor (560 mg/l), es demasiado baja y está fuera del rango óptimo de funcionamiento (3000 - 6000 mg/l).

Cuadro N° 29: Resultados del monitoreo N°2, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR 6	SEDIMENTADOR 7
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	3.8	-
T	°C	21.3	-
%SAT.	%	-	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	796	-
SALINIDAD	g/l	-	-
pH		7.73	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	560	10565
STV	mg/l	269	8728
STNV	mg/l	291	1837
%SSNV	%	52	17
SS	mg/l	236.1	8115
SSV	mg/l	191.8	6960
SSNV	mg/l	44.26	1155
%SSNV	%	19	14

Fuente: Elaboración propia.

En el sedimentador la concentración de fangos (10565 mg/l) ha disminuido en relación al monitoreo N°1 (13469 mg/l), debido a que no se regula adecuadamente la cantidad de fangos mediante el sistema Venturi. Sin embargo, el valor se encuentra fuera del rango óptimo de operación (6000 - 8000 mg/l).

El sedimentador se divide en tres zonas, fondo del sedimentador, el espesor de la placa porosa y la altura del agua desde la placa hasta el espejo de agua. Siendo cada altura de 30 cm, a raíz de esto el volumen de la placa (300 l) estaría disminuyendo el volumen del sedimentador (900 l), quedando 600 l de volumen útil siendo insuficiente para tener un TRH adecuado.

6.2.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del sistema y el análisis de los resultados, se proporcionan las siguientes actuaciones a fin de mejorar el funcionamiento del sistema:

1. Necesidad de seguir controlando mejor el sistema de recirculación para incrementar la concentración de sólidos suspendidos en el reactor.

En el Cuadro N° 30 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de ésta manera el reactor pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 17 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 7.5 l/día.

Cuadro N° 30: Cálculo de la producción de fangos segundo monitoreo.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=17	Volumen (m³)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 2	2.4	560	7.5	10565	17	79

Se calculó el caudal de recirculación de fangos para obtener un tiempo de retención de 17 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 31.

Cuadro N° 31: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular							
Volumen (m³)	Q entrada (m³/día)	SST reactor (mg/l)	SST (mg/l) sedimentador	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recirc.	Qrecir (l/día)
2.4	2.1	560	10565	1.14	17	0.05	110

Con el caudal del Venturi (900 l/h mínimo - 1061 l/h máximo) y la cantidad necesaria de fango a recircular (110l/día), es necesario una recirculación durante 6 minutos a caudal máximo o 7 minutos a caudal mínimo en un día, de esta manera conseguir el tiempo de retención celular de 17 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

2. Se considerará un tiempo de retención celular de 17 días.

En el Cuadro N° 32 se observa que se puede incrementar el TRC para purgar menor cantidad de fangos al día. Sin embargo, obtendremos menor cantidad de producción de fangos (QAX) por día, y según los resultados obtenidos es necesario tener mayor cantidad de producción de fangos.

Cuadro N° 32: Producción de fangos y caudal de purga.

Cantidad de producción de fangos y caudal de purgar								
	XSSTr (mg/l)	XSSTs (mg/l)	QAX (15 días) (g/día)	QAX (17 días) (g/día)	QAX (20 días) (g/día)	Qp (15 días) (l/día)	Qp (17 días) (l/día)	Qp (20 días) (l/día)
Monitoreo 1	2164	13469	346	306	260	26	22.7	19
Monitoreo 2	560	10565	90	79	67	8	7.5	6

No se tomará los valores de TRC igual a 20 días porque se considera que la producción de fangos es bajo.

3. Se cambiará la bomba que impulsa el efluente del sedimentador (depósito de almacenamiento) hacia la entrada del decantador lamelar por una bomba de menor potencia.
4. El retiro de la placa porosa del sedimentador que no se realizó luego del primero monitoreo, así que se tendrá que realizar.

Se ha comentado las propuestas al encargado de la EDAR para su implementación y luego volver a realizar el tercer monitoreo y seguir evaluando el comportamiento de la EDAR.

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TERCER MONITOREO

6.3.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar el tercer monitoreo, se observó:

a) Cámara de rejas.

Se pudo encontrar una gran cantidad de papel de manos (difícil de deshacerse), saturando las rejas. Sin embargo, se trató de un problema puntual el cual se solucionó al instante.

El problema real del papel que es difícil de deshacer es que pueden llegar hasta las bombas sumergida y obturarlas.

b) Reactor biológico:

Se observó que la aireación de los difusores no era un burbujeo fino, era un chorro de aire puntual, posiblemente ocurrió la rotura del difusor. Por lo que la soplante estaría inyectado el aire por la tubería rota y no por el difusor (Burbujas muy gruesas).

c) Sedimentador:

No se pudo realizar el retirado de la placa porosa, debido a que se había programado el trabajo del cambio de la bomba que impulsa el agua hacía en decantador lamelar.

d) Sistema de recirculación (Venturi):

La recirculación del sistema Venturi fue de 02 veces al día durante 02 a 03 minutos

e) Depósito de almacenamiento

El bombeo de la salida del sedimentador hacia el decantador lamelar está regulada, debido al cambio de la bomba con mucha potencia por otra bomba de menor potencia que no genera un alivio presión.

f) Espesador de fangos

El efluente del espesador de fangos se llevó hacia la cámara de rejas, debido a que en el trascurso de la semana se notó un incremento de amonio en la salida del humedal. Por lo tanto, se buscó disminuir la cantidad de amonio al ingreso del humedal.

g) Humedal

Días antes se obtuvo una concentración de amonio igual a 47.3 mg/l, medido por la empresa que realiza los monitoreos dos veces al año (ANALQUA), incumpliendo con los límites de vertido al presentar los informes a Confederación.

6.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS

En el Cuadro N° 33 se puede observar que la concentración de oxígeno disuelto a la salida del decantador (SD3) ha disminuido (2.57 mg/l), debido a que ya no existe una reaeración adicional provocado en el depósito de almacenamiento.

La relación de DBO₅/DQO en la entrada al sistema (E1) y en la entrada al humedal es de 0.55 y 0.40 respectivamente, con lo que se puede decir que ambas muestras presentan una degradabilidad alta. Lo que indica que en ese instante ingresa poco material inorgánico difícil de biodegradar en dichos componentes.

Cuadro N° 33: Resultados del monitoreo N°3 (15/12/2015), parámetros de los 05 puntos de monitoreos.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	4.44	1.07	2.57	4.62	3.45
%SAT.	%	47.6	10.6	26.8	44.2	32
T	°C	18.7	17.1	16.1	13.7	13.1
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	620	1200	1212	1365	1207
SALINIDAD	g/l	0	0.4	0.4	0.5	0.4
pH		7.71	7	7.18	7.25	7
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO	mgO ₂ /l	500.3	387 (*)	387 (*)	277.3	212.3
DQO	mgO ₂ /l	581	722	474	133	125
SS	mg/l	110	418	252	57	12.5
SSV	mg/l	97	334	184	27	1
SSNV	mg/l	13	84	68	30	11.5
%SSNV	%	12	20	27	53	92
Amonio	mg N/l	42.2	76.4	74	54.8	64

Fuente: Elaboración propia.

(*) Los valores obtenidos de DBO sobrepasaron los rangos de sembrados esperados que fueron de 0 – 400 mg/l para los puntos S2, SD3.

Se estaría cumpliendo con el valor de la DBO₅ (17 mg/l), Cuadro N° 34, y los sólidos suspendidos (12.5 mg/l). El valor de la DQO también cumple con la normativa. Caso contrario ocurre con la concentración de amonio (64 mg N/l) que no logra cumplir con los valores de vertido, Cuadro N° 33.

Cuadro N° 34: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO₅ y DBO lim. Nitrosa

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. car	mgO ₂ /l	474.4	369	254	62.89	29.5
DBO₅	mgO ₂ /l	322.4	225.1	193	47.8	17
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	36.4	19.5	129	145.8	240.7

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el monitoreo adicional del amonio en todos los puntos monitoreados. Resultando un valor alto en la salida del humedal (64 mg/l), corroborando las mediciones de la empresa que monitoreo anteriormente (47.3 mg/l).

En el Cuadro N° 35 se observa que el valor del oxígeno disuelto dentro del reactor en bajo (0.16 mg/l), debido a la mala aireación que se presenta en el reactor por una posible rotura de la tubería que conecta la soplante con los difusores.

Cuadro N° 35: Resultado del monitoreo N°3, parámetros medidos en el reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR 6	SEDIMENTADOR 7
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	0.16	-
T	°C	1.6	-
%SAT.	%	17.2	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	1200	-
SALINIDAD	g/l	0.4	-
pH		7.66	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	1309	41040
STV	mg/l	848	35848
STNV	mg/l	461	5192
%SSNV	%	35	13

Fuente: Elaboración propia.

Se observó mayor cantidad de fangos en el reactor (1309 mg/l) que el monitoreo número 2 (560 mg/l). Sin embargo, luego de 20 minutos de la prueba de sedimentabilidad no se observó fango en el fondo de la probeta, motivo por el cual no se pudo realizar el IVF.

La cantidad de sólidos suspendidos totales en el reactor es de 1309 mg/l, no obstante aún se encuentra fuera del rango óptimo de funcionamiento (3000 - 6000 mg/l).

En el sedimentador la concentración de fangos se ha incrementado demasiado (41040 mg/l) con respecto a la medición anterior, encontrándose fuera del rango óptimo de operación (6000 - 8000 mg/l).

6.3.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del funcionamiento y el análisis de los resultados del tercer monitoreo, se proponen las siguientes actuaciones a fin de mejorar el funcionamiento del sistema:

1. Reparación de los difusores que se encuentran dentro del reactor o adquisición de unos nuevos difusores.
2. Automatizar la recirculación con el sistema Venturi y la bomba sobre la placa porosa mediante una electroválvula, para mantener constante la cantidad de fangos a recircular.
3. Seguir incrementando la concentración de fangos en el reactor biológico y disminuyendo la concentración de sólidos en el sedimentador.

En el Cuadro N° 36 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de ésta manera el reactor biológico pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 17 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 4.5 l/día.

Cuadro N° 36: Cálculo de la producción de fangos del tercer monitoreo.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=17	Volumen (m ³)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 3	2.4	1309	4.5	41040	17	185

Se calculó el caudal de recirculación de fangos para obtener un tiempo de retención de 17 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 37.

Cuadro N° 37: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular							
Volumen (m ³)	Q entrada (m ³ /día)	SST reactor (mg/l)	SST (mg/l) sedimentador	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recirc.	Qrecir. (l/día)
2.4	2.1	1309	41040	1.14	17	0.03	65

Con el caudal del Venturi (900 l/h mínimo - 1061 l/h máximo) y la cantidad necesaria de fango a recircular (65 l/día), es necesario una recirculación durante 4 minutos al día, de ésta manera conseguir el tiempo de retención celular de 17 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

4. Posible cambio o actualización de normativa de vertido, la Fundación viene realizando los vertidos con la autorización del vertimiento del 2009, normativa donde las exigencias de los parámetros son mayores según la situación en la que se encuentra la depuradora.

Sin embargo, con las nuevas directrices según las condiciones de la EDAR y entorno que rodea y según la población, no sería posible exigir por ejemplo concentraciones de nitrógeno o amonio demasiado bajos. Por lo que no tendría relevancia llegar a esos niveles de tratamientos exigidos en las normativas antiguas.

Por lo tanto, el amonio podría ser de un valor mayor en el límite de vertido o simplemente no considerarlo.

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CUARTO MONITOREO

6.4.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

Antes de realizar el cuarto monitoreo se observó:

- a) Cámara de rejas.

Se construyó un acceso, puerta de rejas mostrada en la Figura N° 28, entre la cámara de rejas y el reactor biológico (importante para la facilidad de la operación de la EDAR).

Figura N° 28: Construcción de acceso entre la cámara de rejas y el reactor biológico.



- b) Reactor biológico:

La sedimentación de fangos en el reactor es demasiado lenta, luego de 30 minutos no se observa una sedimentación considerable. Sigue existiendo insuficiencia de fangos dentro del reactor.

Se consiguieron los dos difusores con membranas de plásticos con micro agujeros, instalados en un tubo de PVC de 90 mm. Sin embargo, no se llegó a realizar el cambio.

La entrada hombre en el reactor era muy pequeño (40 cm) lo que dificultaría la instalación de los difusores.

- c) Sistema de recirculación (Venturi):

La recirculación se hace durante 5 minutos a caudal mínimo una vez por día.

d) Espesador de fangos

Se generan malos olores en el fluente del espesador

6.4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Según los resultados mostrados en el Cuadro N° 38, se puede observar que la relación de DBO₅/DQO de la entrada (E1) es de 0.53 lo cual refleja una biodegradabilidad muy buena, siendo dicha relación para la entrada al humedal un valor de 0.34, característico de un agua biodegradable. Lo que indica que en ese instante ingresa poco material inorgánico difícil de biodegradar en ambos componentes.

Cuadro N° 38: Resultado del monitoreo N°4 (15/01/2016), parámetros en los 05 puntos de monitoreos.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	5.84	0.18	3.8	0.73	1.95
T	°C	17	1.7	37.4	7.1	18.2
%SAT.	%	61.7	17	14.3	12.9	11.8
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	1135	1056	1084	1358	1106
SALINIDAD	g/l	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3
pH		8.65	7.04	7.2	6.92	7.01
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO	mgO ₂ /l	731.3	387 (*)	330.3	102.3	221.3
DQO	mgO ₂ /l	587	525	331	127	89
SS	mg/l	242.0	264.7	145.1	37.7	13
SSV	mg/l	197.7	243.1	137.3	36.4	11.0
SSNV	mg/l	44.3	21.6	7.8	1.3	2.0
%SSNV	%	18	8	5	3	15
Amonio	mg N/l	35.6	56.6	47.4	42.8	40.6
Turbiedad	NTU	113.0	243.0	110.0	67.6	62.6

Fuente: Elaboración propia.

(*) Los valores obtenidos de DBO sobrepasaron los rangos de sembrados esperados que fueron de 0 – 400 mg/l para el punto S2.

Con respecto a los parámetros a cumplir en la normativa de vertimiento que solicita confederación, la DBO₅ (23.6 mg/l), Cuadro N° 39, la DQO (89 mg/l) y los sólidos suspendidos (11 mg/l) cumplen adecuadamente con estos límites de vertimiento exigidos, Cuadro N° 38 .

Cuadro N° 39: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO5 y DBO lim. Nitrosa.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. Carb.	mgO ₂ /l	485	509.2	184.5	ND (*)	33.2
DBO₅	mgO ₂ /l	309.2	282.4	112.7	ND	23.6
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	424.6	ND	145.8	ND	263.9

Fuente: Elaboración propia.

(*) ND: NO DEFINIDO, valores donde no se pudo diferenciar el consumo de la DBO Carbonosa de la DBO Nitrosa

Con relación al amonio aún se tiene un valor muy alto en la salida del humedal (40.6 mg N/l). Sin embargo, el valor ha disminuido con relación al monitoreo anterior (64 mg N/l).

El valor de la turbiedad a la salida del humedal es un valor relativamente alto (62.6 NTU).

En el Cuadro N° 40 se observa que el oxígeno disuelto dentro del reactor es un valor bajo (0.2 mg/l) según los valores de operación recomendados (2 mg/l), con lo cual se tendrá que buscar la forma de incrementar dicho valor.

No se realizó el IVF debido a que los fangos no llegaron a sedimentar por encontrarse en baja concentración.

Cuadro N° 40: Resultados del monitoreo N°4, parámetros en el reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR 6	SEDIMENTADOR 7
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	0.2	-
T	°C	1.5	-
%SAT.	%	17.4	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	1034	-
SALINIDAD	g/l	0.3	-
pH		7.6	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	1406	28833
STV	mg/l	1048	25827
STNV	mg/l	358	3006
%SSNV	%	25	10

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de sólidos suspendidos totales en el reactor es baja (1406 mg/l), pero ligeramente mayor al monitoreo anterior (1309 mg/l). Sin embargo, el valor de sólidos aún se encuentra fuera del rango óptimo de operación (3000 - 6000 mg/l).

En el sedimentador la concentración de fangos ha disminuido en valor (28833 mg/l) a comparación del valor anterior (41040 mg/l), aun así no se logra alcanzar el rango óptimo de operación (6000 - 8000 mg/l).

Los valores de los sólidos suspendidos en el sedimentador aún son mayores debido a que no se puede regular el número de veces al día y el tiempo de recirculación. Además de tener el sistema de aireación dañada.

6.4.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del funcionamiento y el análisis de los resultados del monitoreo N°4, se proponen las siguientes actuaciones a fin de mejorar el funcionamiento del sistema:

1. Instalación de nuevos difusores, siendo necesario el vaciado del reactor biológico.
2. Seguimiento en la mejora de concentración de fangos en el reactor biológico y seguir con la disminución de la concentración de fangos en el sedimentador.

En el Cuadro N° 41 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de ésta manera el reactor biológico pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 17 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 6.9 l/día.

Cuadro N° 41: Cálculo de la producción de fangos del cuarto monitoreo.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=17	Volumen (m ³)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 4	2.4	1406	6.9	28833	17	198

Se calculó el caudal de recirculación de fangos para obtener un tiempo de retención de 17 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 42.

Cuadro N° 42: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular							
Volumen (m ³)	Q entrada (m ³ /día)	SST reactor (mg/l)	SST (mg/l) sedimentador	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recir.	Qrecir. (l/día)
2.4	2.1	1406	28833	1.14	17	0.05	100

Con el caudal del Venturi (900 l/h mínimo - 1061 l/h máximo) y la cantidad necesaria de fango a recircular (100 l/día), es necesario una recirculación durante 6 minutos a caudal máximo y 7 minutos a caudal mínimo del Venturi por día, de ésta manera conseguir el tiempo de retención celular de 17 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

3. Aprovechando la instalación de los difusores y vaciado del reactor, para retirar los fangos sedimentados en el fondo del reactor.
4. Incrementar el número de veces y el tiempo de apertura en la recirculación mediante el sistema Venturi a 4 veces por día durante un minuto.
5. Medir los valores del oxígeno en el reactor que se obtiene con el nuevo sistema de aireación tras terminar del periodo de arranque de la soplante.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL QUINTO MONITOREO

6.5.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar diagnóstico del quinto monitoreo se observó:

a) Reactor biológico:

Se realizó el cambio de los difusores, en la Figura N° 29 (a) se muestra los difusores antiguos no operativos y la tubería principal dañada por donde ocurrió la rotura y escapaba el aire generando así una aireación puntual y no mediante los difusores. En la figura de la derecha (b) se muestra los nuevos difusores a ser instalados.

Figura N° 29 : Sistema de aireación cambiado.



(a)



(b)

Luego de la instalación de los difusores, la aireación se mantuvo durante 24 horas con una recirculación de fangos de 4 veces al día, obteniéndose una concentración de oxígeno de 4.9 mg/l.

Se realizó una inoculación de los fangos en 03 días diferentes y consecutivos, 100,50 y 125 litros de fangos respectivamente.

Se programa la soplante con un tiempo de 01 hora con 20 con minutos de arranque y 10 minutos de parada.

Tras de una semana de la instalación de los difusores y cambios del número de veces en la recirculación, se obtuvo una concentración de oxígeno disuelto al final de la aireación de 3.35 mg/l y luego de la recirculación de fangos al reactor el valor del oxígeno bajo hasta 0.6 mg/l.

En el Cuadro N° 43 se observa las fechas en las que se realizó los cambios de tiempos de aireación de la soplante y tiempos de parada.

Se realizó la medición del OD, justo antes de la parada de la soplante (oxigenación máxima) y luego de 10 minutos de paro de la soplante se realizó la medición para verificar el consumo de oxígeno en el reactor y descartar la posibilidad de llegar a valores muy bajos de oxígeno, obteniendo el valor de oxígeno adecuado al tercer día (1 mg/l).

Cuadro N° 43: Valores de operación en el sistema de aireación y OD en el reactor

Fecha	Tiempo de aireación (min)	Medición de Oxígeno en el reactor	
		Oxígeno al final de aireación (mg/l)	Oxígeno luego de 10 min paro (mg/l)
04/02/16	75/15	2.8	1.5
05/02/16	70/20	2.5	1.4
08/02/16	70/20	1.8	1

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por operador de la EDAR.

Seguido de esa fecha se esperaba el monitoreo N° 5 y observar la evolución de todo el sistema de tratamiento.

El día de visita del monitoreo (11/02/16), se notó claramente las burbujas muy finas y distribuidos en toda la superficie del reactor, siendo característico por los nuevos difusores que se han instalado.

b) Sedimentador:

Se programó la recirculación de la bomba situada sobre la placa porosa durante 5 minutos a las 03:00 y a las 15:00 horas del día, (Figura N° 30).

c) Sistema de recirculación (Venturi):

Se instaló un temporizador para el sistema de recirculación (Venturi), programando el tiempo de funcionamiento a las 9:00 y 21:00 horas durante un minuto, Figura N° 30.

Figura N° 30: Temporizadores para controlar los tiempos de recirculación.



d) Humedal:

Menor densidad de plantación de eneas en el humedal, con lo que se tendría que realizar una plantación de ellas.

El humedal cuenta con plantaciones de lirio por su capacidad de mantenerse verdes durante todo el año y brindar una buena vista paisajística. Sin embargo, no es una planta capaz de realizar la oxigenación mediante sus raíces con la misma eficiencia que las eneas.

6.5.2 RESULTADOS OBTENIDOS

En el Cuadro N° 44 se observó que el oxígeno disuelto a la salida del sedimentador (3.1 mg/l), se ha incrementado en comparación al valor del monitoreo anterior (0.18 mg/l), esto puede ser debido a la mejora de la aireación dentro del reactor biológico y correcto funcionamiento de los difusores.

La relación de DBO_5/DQO en la entrada del humedal es de 0.23 siendo una muestra poco biodegradable, posible ingreso de material inorgánico difícil de biodegradar.

Cuadro N° 44: Resultados del monitoreo N°5 (11/02/2016), parámetros en los 05 puntos monitoreados.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	4.9	3.1	3.4	1.2	0.9
%SAT.	%	54	32.5	35	11.4	9.2
T	°C	20.2	19.1	18.3	16.3	18.6
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	520	888	920	1268	1000
SALINIDAD	g/l	0	0.2	0.2	0.4	0.3
pH		8.46	7.53	7.5	7.2	7.1
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO	mgO ₂ /l	257	206	203	181	203
DQO	mgO ₂ /l	372	207	201	132	125
SS	mg/l	106.5	58.0	63.9	28.9	13.9
SSV	mg/l	103.3	53.1	55.7	22.9	7.9
SSNV	mg/l	3.1	4.9	8.2	6.0	5.9
%SSNV	%	3	9	13	21	43
Amonio	mg N/l	16.8	39.4	38.2	36.2	31.4
Turbiedad	NTU	36.9	40.6	46.9	16.2	55.9

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los valores límite de vertido, en el presente monitoreo se logra cumplir con los sólidos suspendidos (13.9 mg/l) y los valores de la DQO (125 mg/l), Cuadro N° 44. Sin embargo, llamó la atención que el valor de la DQO se encuentre en el valor límite permitido y que la DBO (33.7 mg/l), Cuadro N° 45, no cumpliera con el límite de vertido.

Cuadro N° 45: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO₅ y DBO lim. Nitrosa.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. Carb.	mgO ₂ /l	ND	108.8	93.8	39.2	54.1
DBO ₅	mgO ₂ /l	ND	64.9	46.7	27	33.7
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	ND	102	109.2	141.8	164.3

Fuente: Elaboración propia.

(*) ND: NO DEFINIDO, valores donde no se pudo diferenciar el consumo de la DBO Carbonosa de la DBO Nitrosa.

Por otro lado, el valor del amonio en la salida del humedal tampoco cumple la normativa de vertido. Sin embargo desde el primer monitoreo realizado del amonio, se ha venido mejorando la concentración en cuanto a este parámetro (31.4 mg N/l).

En la medición de la DQO se estaría contando la cantidad de oxígeno que se demanda por la presencia de los sulfatos (detectados en el laboratorio por el cambio de color de la muestra tras un determinado periodo), esto ayuda al incremento del valor en dicho parámetro.

En el Cuadro N° 46 se observa el valor del oxígeno disuelto dentro del reactor, siendo un valor bajo (0.3 mg/l), valor que no contrasta después del cambio de los difusores y luego de haber monitoreado el oxígeno en el reactor días antes y consiguiendo un valor adecuado (1mg/l).

Cuadro N° 46: Resultados del monitoreo N° 5, parámetros en el reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR 6	SEDIMENTADOR 7
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	0.3	-
%SAT.	%	6	-
T	°C	19	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	870	-
SALINIDAD	g/l	0.2	-
pH		7.5	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	1525	10829
STV	mg/l	1094	9117
STNV	mg/l	431	1713
%SSNV	%	28	16

Fuente: Elaboración propia.

La concentración de sólidos totales dentro del reactor es un valor menor al rango necesario (1525 mg/l) para el buen funcionamiento del reactor. Sin embargo, se muestra una ligera mejora de la concentración con respecto al valor obtenido en el monitoreo anterior (1406 mg/l).

Los sólidos totales dentro del sedimentador (10829 mg/l) han disminuyendo considerablemente en su concentración con respecto al monitoreo anterior (28833 mg/l), debido una recirculación mejor programada y controlada por las electroválvulas instaladas. La concentración se aproxima al rango de operación óptimo (6000 mg/l – 8000 mg/l).

A pesar de monitorear días antes el reactor y obtener una concentración de 1 mg/l de oxígeno disuelto al finalizar el tiempo de parada, la medición en el monitoreo N°5 fue un valor bajo (0.35 mg/l a los 25 min de arranque de la soplante), se realizó un segundo monitoreo al final de la aireación y se obtuvo un valor de 0.2 mg/l, siendo difícil de explicar al momento debido a que se esperaba un incremento en la concentración de oxígeno.

Se realizó una tercera medición justo antes del final de la etapa de aireación y se observó una estabilización del oxígeno en 0.5 mg/l. Lo que ocasionó una discusión de los resultados obtenidos.

DISCUSIÓN DE INCREMENTO DE FLOTANCIÓN DE FANGOS Y VALORES DE LA DBO ELEVADA:

Después de una semana del quinto monitoreo, se realizó una visita a la EDAR, se observó la presencia de fangos flotantes en el espejo de agua del sedimentador. Como se muestra en la Figura N° 31.

Figura N° 31: Fangos flotantes luego del quinto monitoreo.



Se realizó la prueba de sedimentabilidad de fangos en el reactor y la velocidad de sedimentación fue adecuada (250 ml en 20 minutos). Sin embargo, luego de 02 horas los fangos del fondo del recipiente empezaron a flotar. Proceso similar ocurrido en la superficie del sedimentador.

Figura N° 32: Flotación de fangos en el sedimentador.



a)



b)

Dicho proceso existe debido a que ocurre el proceso de nitrificación en el reactor y desnitrificación en el sedimentador.

Explicación de la nitrificación y desnitrificación.

Con el sistema de difusores nuevos y tiempo de aireación seleccionado (70 min. de aireación y 20 min. de paro) se incrementó la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor, suficiente para realizar el proceso de la degradación de la materia orgánica mediante los microorganismos.

Pero existiendo aún oxígeno suficiente, se produce la oxidación del amonio (NH_4^+) obteniendo como resultado nitratos (NO_3^-), producto que luego pasará al sedimentador. Siendo uno de los motivos por el cual el oxígeno es bajo dentro del reactor (consumo por parte de la materia orgánica carbonosa y en mayor velocidad la materia orgánica nitrosa).

En el sedimentador, debido a la gran cantidad de microorganismos (gran concentración de los sólidos suspendidos) y al no existir oxígeno suficiente para que puedan realizar la degradación de la materia orgánica, los microorganismos aprovechan el oxígeno del nitrato que han pasado hasta el sedimentador, generando zonas anóxicas.

Sin embargo, el problema principal es que al aprovechar el oxígeno de los nitratos, se produce la formación del nitrógeno en forma gaseosa (N_2 g) u óxidos de nitrógeno. Por lo

que siendo la densidad del gas menor que el agua, emergen hacia la superficie arrastrando a los fangos del sedimentador, provocando una mala calidad del efluente.

Por lo tanto, el proceso de la nitrificación ayuda eliminar el amonio transformándolo en nitrógeno gas. Sin embargo, el problema de la alta concentración de amonio persiste, debido a que no está nitrificando todo el amonio en el reactor y pasa hasta el efluente del humedal.

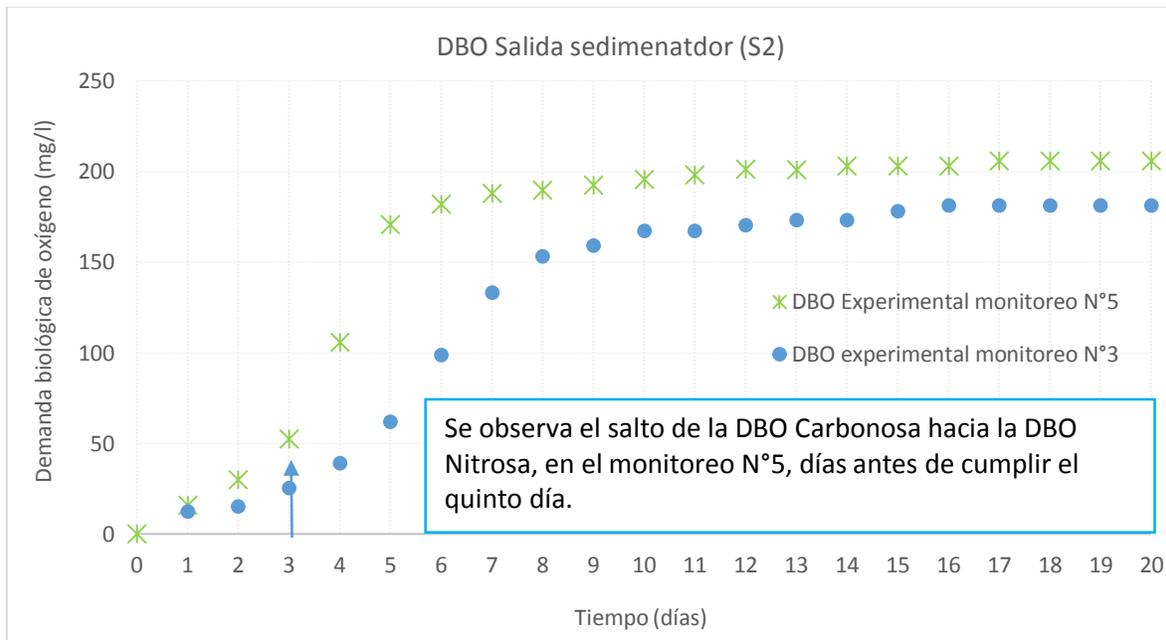
Explicación de la DBO alta

En los resultados obtenidos del quinto laboratorio (Cuadro N° 44) se observó una DBO total alta (170.1 mg/l en el punto S2). Por lo que se realizó un análisis en las curvas de demanda biológica de oxígeno (DBO carbonosa y nitrosa), observándose que en la salida de sedimentador (S2) que a partir del día 3 ocurría un cambio brusco de la curva de la DBO carbonosa y empezaba la curva de la DBO nitrosa (Figura N° 33), evidenciando que existe una gran concentración de bacterias nitrificantes que producen nitrato y mayor cantidad de demanda de oxígeno por el proceso de nitrificación.

De esta manera la medida de la cantidad de DBO₅ era errónea, debido a que se estaba incluyendo en la medición gran parte del consumo de oxígeno por la degradación de la materia orgánica nitrosa.

Del mismo modo se realizó la medición en el punto de salida del humedal (SH5), por ello se tuvo un valor de DBO total igual a 86.5 mg/l (consumo de oxígeno por la materia orgánica carbonosa y nitrosa), realizando el cálculo correcto de la DBO₅ y obteniendo el valor de 33.7 mg/l.

Figura N° 33: Demanda biológica de oxígeno en la salida del sedimentador.



Fuente: Elaboración propia.

Revisando el comportamiento de las gráficas de la DBO en los monitoreos anteriores, se observó que no existía ese consumo tan próximo por parte de las bacterias nitrificantes como se visualizó en este monitoreo, Figura N° 33.

Fangos flotantes

La desnitrificación es un proceso que ocurre normalmente en el decantador secundario. Sin embargo, los fangos deberían ser purgados para no permitir la sobreproducción del nitrógeno gas.

Con respecto a la producción de fangos que se tendría en el reactor, para un tiempo de retención igual a 17 días, calculado con las concentraciones de XSST en el reactor y en el sedimentador, varía entre 200 a 250 g/día.

Por lo tanto, según la producción de fangos y el tiempo de retención se debería de realizar una purga de entre 10 a 20 litros por día del sedimentador.

Actualmente en la EDAR se está recirculando los fangos del sedimentador con lo cual solo se está incrementando la concentración de fangos en el reactor.

Sin embargo, en la actualidad no se puede conocer el incremento de concentración de sólidos que ha sufrido el reactor por la constante recirculación de fangos, debido a que entre el cuarto y quinto monitoreo (20 días atrás) se realizó un vaciado del reactor para reparar el sistema de aireación.

6.5.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del funcionamiento y el análisis de los resultados, se proponen las siguientes actuaciones a fin de mejorar el funcionamiento del sistema:

1. Seguimiento de la concentración de los sólidos en el reactor.

En el Cuadro N° 47 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de ésta manera el reactor biológico pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 17 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 20 l/día.

Cuadro N° 47: Cálculo de la producción de fangos del quinto monitoreo.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=17	Volumen (m ³)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 5	2.4	1525	20	10829	17	215

Se calculó el caudal de recirculación de fangos para obtener un tiempo de retención de 17 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 48.

Cuadro N° 48: Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular							
Volumen (m ³)	Q entrada (m ³ /día)	SST reactor (mg/l)	SST (mg/l) sedimentador	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recir.	Qrecir. (l/día)
2.4	2.1	1525	10829	1.14	17	0.15	321

Con el caudal del Venturi (900 l/h - 1061 l/h) y la cantidad necesaria de fango a recircular (321 l/día), es necesario una recirculación durante 18 minutos a caudal máximo y 21 minutos a caudal mínimo del Venturi por día, de ésta manera conseguir el tiempo de retención celular de 17 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

2. Recircular un mayor número de veces al día los fangos del sedimentador mediante el sistema Venturi.

Dentro del sedimentador los fangos no tienen que permanecer demasiado tiempo, por lo tanto se tendría que recircular mayor número de veces o realizar la purga de fangos, siendo este último una acción que no se realiza en la EDAR, se optaría por recircular mayor número de veces.

Operacionalmente se tendrá que realizar la recirculación de los fangos y ajuste del tiempo de aireación, motivo por el cual es necesario realizar un sexto monitoreo para ver la evolución de los sólidos flotantes en el sedimentador.

3. Otra alternativa a plantear es conocer la concentración de los fangos que flotan y aprovecharlos como la purga.

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SEXTO MONITOREO

6.6.1 ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

Al realizar el sexto monitoreo, se observó:

a) Cámara de rejas.

Se observó una carga muy alta de la muestra, por lo que se tendrá que realizar diluciones al realizar los ensayos de laboratorio.

b) Reactor biológico:

Tras el quinto monitoreo se continuó la medición del oxígeno disuelto en el reactor, con una entrada fija de aire de 70 minutos y 20 minutos de paro, observando en el Cuadro N° 49 valores de oxígeno disuelto muy cercanos a los recomendados dentro del reactor.

Cuadro N° 49: Monitoreo del oxígeno disuelto en el reactor.

Fecha	Tiempo de aireación (min)	Medición de Oxígeno en el reactor	
		Oxígeno al final de aireación (mg/l)	Oxígeno luego de 10 min paro (mg/l)
12/02/2016	70/20	2	1.5
15/02/2016	70/20	2.4	1.5
16/02/2016	70/20	1.8	0.8

Fuente: Elaboración propia, información proporcionada por el operador de la EDAR.

Adicionalmente realizado la prueba de velocidad de sedimentación durante estos días y se tiene una buena sedimentación a los 30 minutos de la prueba (entre 200 – 250 ml).

c) Sedimentador:

Tres semanas antes del sexto monitoreo, en el sedimentador se daba la flotación de fangos muy densos, dichos flotantes era difícil de recircular debido a que la bomba estaba sumergida y su acción no llegaba hasta la superficie.

Al inicio de la aparición de los fangos flotantes, el operador lograba sedimentar los fangos aplicando un chorro de agua sobre el fango flotante, de esta manera los fangos sedimentaban sobre la placa porosa y podían ser recirculados hacia el reactor. Sin embargo, cada vez era más complicado hacerlos sedimentar debido a que la densidad del fango se incrementaba y el espesor de la capa de fangos en la superficie era mayor.

Figura N° 34: Comparación de la superficie del sedimentador.



En la Figura N° 34 (a) se muestra la densidad tan alta que alcanzó los fangos flotantes, la Figura N° 34 (b) muestra la condición ideal de trabajo del sedimentador.

Por los problemas comentados de la densidad de los fangos, se decidió elevar la bomba que se encuentra sobre la placa porosa para incrementar el radio de acción y poner recircular los fangos de la superficie. Se llegó a bombear 12 veces al día durante 5 minutos. Por lo que la concentración de fangos en el reactor se incrementó y así se tuvo mayor consumo de oxígeno. Sin embargo, se consumiría mayor cantidad de energía por incrementar el tiempo de bombeo.

Frente al problema de la flotación de fangos en el sedimentador se estudió las formas de intentar detener dicho proceso proponiendo las siguientes recomendaciones y seleccionando las más adecuadas para la EDAR:

- Evitar los picos de oxígeno, especialmente por la noche junto con cargas orgánicas débiles.
- Operación en modo “ciclos con aireación intermitente”, nitrificación y desnitrificación dentro del reactor.
- Disminuir la concentración de oxígeno para limitar nitrificación.

En el momento de realizar del sexto monitoreo el sedimentador se encontró como se muestra en la Figura N° 35, observándose que la cantidad de fangos flotantes había disminuido por las acciones realizadas en el transcurso del último mes de monitoreo.

Figura N° 35: Fangos flotantes en el monitoreo.



d) Sistema de recirculación (Venturi):

El sistema Venturi se programó para el funcionamiento de 02 veces al día durante 1 min.

e) Decantador lamelar

Tres semanas antes del monitoreo N°6 se encontraron fangos flotantes en la superficie del decantador como se muestra en la Figura N° 36, los cuales se hacían sedimentar con un chorro de agua. Sin embargo, sería mejor no realizar el proceso de sedimentación debido a que al intentar sedimentar los fangos flotantes parte de ellos se quedarían en suspensión y pasaría hacia el humedal.

Figura N° 36: Fangos flotantes en el decantador lamelar.



Lo mejor sería retirarlos con un recipiente.

Días antes del monitoreo N°6 se realizó el vaciado del decantador, dicho volumen se llevó al espesador de fangos, por lo que se llevó una gran cantidad de agua y poco fango, de esta manera se ha generado una remoción de los fangos dentro del espesador variando la calidad del efluente del espesador.

En el sexto monitoreo no se observó fangos flotantes en la superficie del decantador lamelar

f) Espesador de fangos

El efluente del espesador se ha redirigido hacia la cámara de rejillas. De ésta manera ya no se sobrecarga el humedal con la cantidad de amonio que sale de este proceso.

g) Humedal:

Se observa que las plantaciones en el humedal no cuentan con la suficiente densidad de Eneas que pueda aportar la mayor cantidad de oxígeno para el respectivo tratamiento dentro del humedal, se plantea programar la plantación del Eneas necesaria.

La calidad de la muestra tomada es muy buena a simple vista, de las mejores en todos los monitoreos realizados anteriormente.

No se identificó el olor característico (sulfatos) que presentaba anteriormente.

6.6.2 RESULTADOS OBTENIDOS

La concentración del OD a la salida del sedimentador (S2) presenta un valor menor al monitoreo anterior, estabilizándose en 1.2 mg/l.

La relación de DBO_5/DQO en la entrada del humedal (SD3) fue de 0.246, siendo una muestra poco biodegradable. Lo que indica que en ese instante ingresa poco material inorgánico difícil de biodegradar en el humedal.

Cuadro N° 50: Resultado del monitoreo N°6 (21/03/2016), parámetros en los 05 puntos monitoreados.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO						
OD	mg/l	3.3	1.2	0.2	4.5	5.6
%SAT.	%	34.2		0.0	42.9	54.0
T	°C	16.8	17.0	17.0	15.8	13.7
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	1204	794	790	818	1130
SALINIDAD	g/l	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3
pH		6.7	7.0	6.9	7.0	7.3
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO						
DBO	mgO ₂ /l	1594 (*)	231	107	253	146
DQO	mgO ₂ /l	2568	331	153	186	58
SS	mg/l	698.0	190.1	64.5	92.4	7.3
SSV	mg/l	559.8	154.9	41.9	71.7	0.0
SSNV	mg/l	138.2	35.2	22.6	20.7	7.3
%SSNV	%	20	19	35	22	100
Amonio	mg N/l	74.0	60.0	13.8	36.8	25.8
Turbiedad	NTU	420	120	68.2	65.2	7.3

Fuente: Elaboración propia.

(*) La muestra fue diluida en un 50 %. Sin embargo, sobrepasó el rango esperado de la siembra igual a 0 – 1600 mg/l.

Los parámetros de DQO (58 mg/l), sólidos suspendidos (7.3 mg/l), Cuadro N° 50, se encuentran dentro de los límites de vertido exigidos por confederación. Sin embargo, el valor de la DBO₅ (28.8 mg/l) es un valor ligeramente mayor al exigido, Cuadro N° 51.

Con respecto al amonio no se ha cumplido en ningún monitoreo realizado hasta el momento. Sin embargo, los valores siempre han disminuido en cada monitoreo llegando hasta un valor de 25.8 mg N/l.

Cuadro N° 51: Valores calculados de DBO lim. Carbonosa, DBO₅ y DBO lim. Nitrosa.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA				
		E1	S2	SD3	SE4	SH5
PARÁMETROS CALCULADOS						
DBO lim. Carb	mgO ₂ /l	ND (*)	ND	37.7	71.5	37.1
DBO ₅	mgO ₂ /l	ND	ND	37.4	70.9	28.8
DBO lim. Nitr.	mgO ₂ /l	ND	ND	69.8	176	122.3

Fuente: Elaboración propia, información brindada por personal de Fundación.

(*) ND: NO DEFINIDO, valores donde no se pudo diferenciar el consumo de la DBO Carbonosa de la DBO Nitrosa.

En el Cuadro N° 52 se observa que la concentración de oxígeno disuelto en el reactor se encuentra en un valor adecuado para el funcionamiento, habiéndose incrementado en comparación de anteriores monitoreos.

Cuadro N° 52: Resultado del monitoreo N°6, parámetros del reactor y sedimentador.

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRA	
		REACTOR 6	SEDIMENTADOR 7
PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO			
OD	mg/l	1.2	-
%SAT.	%	-	-
T	°C	16.7	-
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	794	-
SALINIDAD	g/l	0.1	-
pH		7	-
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO			
ST	mg/l	954	7104
STV	mg/l	549	5912
STNV	mg/l	405	1192
%SSNV	%	42	83

Fuente: Elaboración propia.

La concentración de los sólidos totales dentro del reactor (954 mg/l) ha disminuido con respecto al valor anterior. Sin embargo, el monitoreo fue realizado el día lunes en la mañana, estando en funcionamiento sábado y domingo donde ocurre una disminución de la carga que ingresa a la EDAR.

La concentración de fangos en el sedimentador (7104 mg/l) se ha regulado y se encuentra dentro óptimo de funcionamiento (6000 – 8000 mg/l).

6.6.3 PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Tras la observación del funcionamiento y el análisis de los resultados del último monitoreo, se proponen las siguientes actuaciones a fin de seguir mejorando el funcionamiento de la EDAR:

1. Encontrar un tiempo de funcionamiento adecuado de la soplante y el tiempo de parada, tal que se mejore la calidad de fangos. La única restricción sería que el tiempo de parada sea menor al tiempo donde ocurre la desnitrificación. (Por experiencias anteriores en el reactor se observó que a las 2 horas ocurría la flotación de fangos).
2. Se dejó como recomendación 1 hora de arranque y media hora de parada. Asimismo también se tendrá un ahorro de energía.
3. Seguimiento de la concentración de los sólidos en el reactor.

En el Cuadro N° 53 se ha calculado la cantidad de fangos por día que se debe purgar en el sedimentador, de ésta manera el reactor biológico pueda conseguir trabajar en con un tiempo de retención celular de 17 días, siendo la cantidad de fangos a purgar 19 l/día.

Cuadro N° 53: Cálculo de la producción de fangos del sexto monitoreo.

Cantidad de producción de fangos para purgar						
TRC=17	Volumen (m ³)	XSSTr (mg/l)	Qp (l/día)	XSSTs (mg/l)	TRC (día)	QAX (g/día)
monitoreo 6	2.4	954	19	7104	17	135

Se calculó el caudal de recirculación de fangos para obtener un tiempo de retención de 17 días como se puede apreciar en el Cuadro N° 54.

Cuadro N° 54 : Cálculo de la cantidad de fangos a recircular por día.

Volumen de fangos a recircular								
Volumen (m ³)	Q entrada (m ³ /día)	SST reactor (mg/l)	SST sedimentador (mg/l)	Θ h (día)	Θ c (día)	Relación de recir.	Qrecir (l/día)	
2.4	2.1	954	7104	1.14	17	0.14	304	

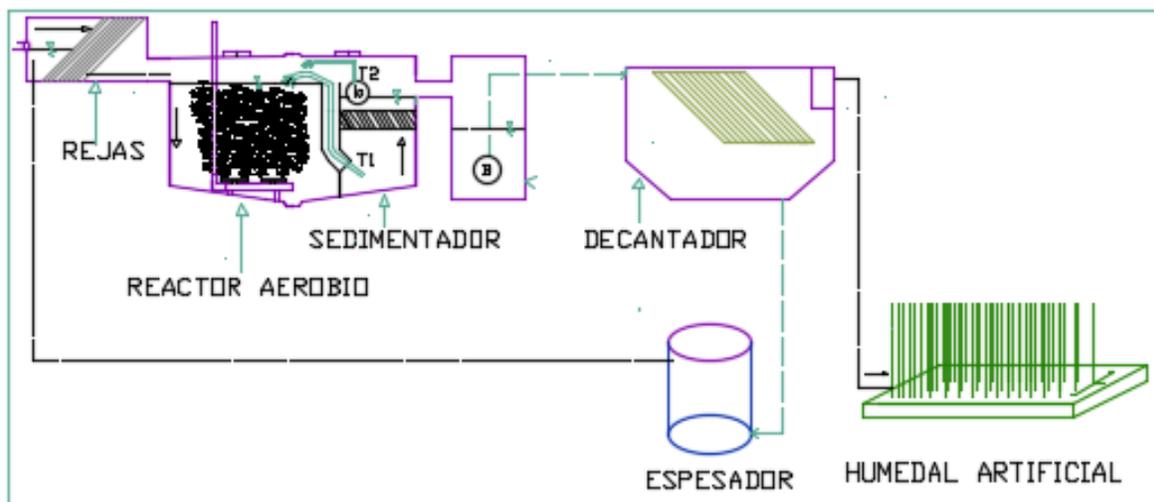
Con el caudal del Venturi (900 l/h - 1061 l/h) y la cantidad necesaria de fango a recircular (304 l/día), es necesario una recirculación durante 17 minutos a caudal máximo y 20 minutos a caudal mínimo por día, de ésta manera conseguir el tiempo de retención celular de 17 días y mejorar la concentración de fangos en el reactor.

6.7 ESQUEMA FINAL DE TRATAMIENTO

Al final del proyecto se tiene el esquema de tratamiento que se puede observar en la Figura N° 37 y se encuentra funcionando con los siguientes cambios:

- ✓ El caudal de ingreso se encuentra dado sólo por el caudal de agua residual urbana de la fundación y el agua de limpieza del taller.
- ✓ Recirculación de los fangos sedimentados sobre la placa porosa hacia el reactor
- ✓ Sistema de aireación reparado (Difusores).
- ✓ La bomba del depósito de almacenamiento fue cambiada, impulsando un caudal menor y acorde a lo necesario hacia el decantador lamelar.
- ✓ La bomba sobre la placa y el Venturi se encuentran controlados con un temporizador. Bombeando según lo necesario para ajustar la concentración de fangos en el reactor.
- ✓ Derivación del efluente del espesador de fangos hacia la cámara de rejillas.

Figura N° 37: Esquema final de la EDAR en estudio



Fuente: Elaboración propia.

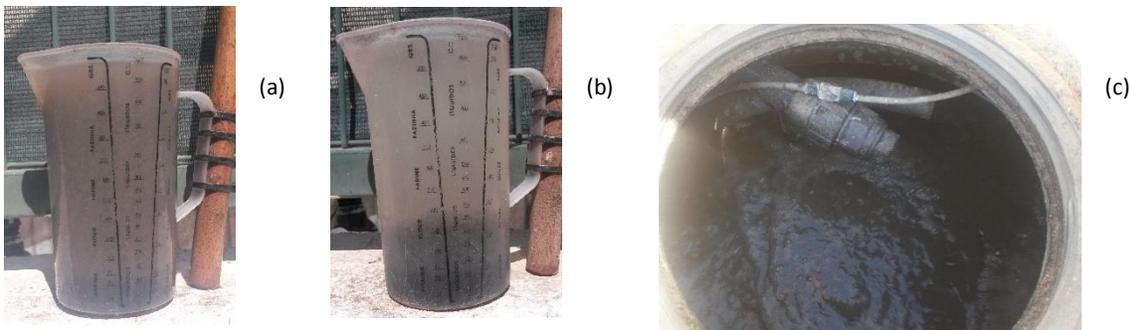
6.8 SEGUIMIENTO FINAL DE LA EDAR

Luego de dos semanas del sexto monitoreo y habiendo realizado los cambios comentados en dicho proceso:

- El tiempo de aireación fue de 60 minutos y 30 minutos de paro
- El sistema Venturi funciona dos veces al día a las 9:00 y a las 19:00 horas durante un minuto.
- La bomba sobre la placa porosa funciona cada dos horas durante 5 minutos (12 veces al día). Los resultados obtenidos luego de realizar estos cambios se pueden observar en la Figura N° 38.

Se realizó una inspección de la evolución de la EDAR, para verificar si seguían existiendo problemas como fangos flotantes en el sedimentador y decantador lamelar, valores de oxígenos bajos en el reactor y la sedimentabilidad de los fangos en el reactor. Observando en la inspección los siguientes cambios:

Figura N° 38: Resultados de los cambios realizados en el reactor.



En la Figura N° 38 (a) se tomó la muestra del reactor para comprobar la velocidad de sedimentación del fango. En la Figura del centro (b) se observa que a los 30 minutos se tenía un volumen de 250 ml de fangos sedimentados. En la Figura de la derecha (c) se observa la calidad del agua en el reactor.

Figura N° 39: Resultados de los cambios realizados en el sedimentador



(a)



(b)

En la Figura N° 39 (a) se observa una muestra retirada de la superficie del sedimentador, observando que no existen fangos flotantes. En la Figura de la derecha (b) se muestra la superficie del sedimentador sin fangos flotantes.

Figura N° 40: Turbidez en el efluente del humedal artificial.

En la Figura N° 40 se muestra la calidad del efluente en el humedal, que cuenta con una turbiedad muy buena luego de realizar los cambios recomendados.



Resumen:

Frente las recomendaciones propuestas y realizadas luego del sexto monitoreo, luego de dos semanas se visitó la EDAR y se observó los siguientes cambios:

- ✓ No se observó fangos flotantes en el reactor, sedimentador ni en el decantador lamelar.
- ✓ La sedimentación de los fangos del reactor resultó buena 250 ml en 30 min.
- ✓ El oxígeno disuelto en el reactor luego de 10 minutos de paro de la soplante se encontró entre los valores de 0.32 – 0.6 mg/l.
- ✓ Buena turbiedad en la salida del Humedal.

7. ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN LOS PROCESOS DE MONITOREO

7.1 TEMPERATURA (T)

En el Cuadro N° 55 se observa los valores de temperatura en cada punto de toma de muestra de la línea de agua y en los 6 monitoreos realizados, con la finalidad observar cambios que pudo haber ocurrido al momento de ejecutar las recomendaciones de operación en la EDAR.

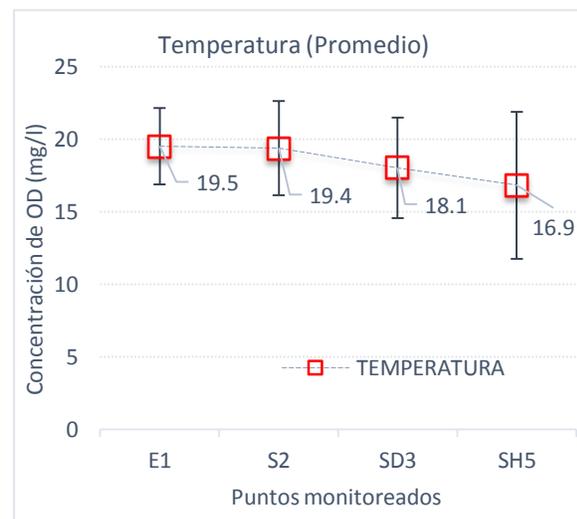
En la Figura N° 41 se observa el valor de la temperatura promedio en la entrada (E1) y salida (S2) se mantiene casi constantes presentando una variación mínima.

En el punto monitoreado de salida del decantador (SD3) disminuye la temperatura. Sin embargo, la variación dentro del decantador es mayor que los puntos anteriores y al final en salida del humedal se tienen menores valores de temperatura.

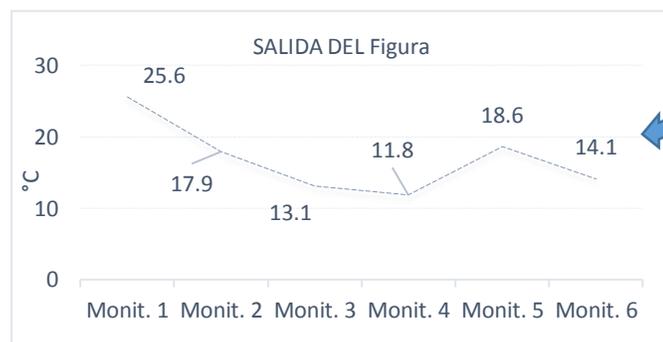
Cuadro N° 55: Resultado de la temperatura en la línea de agua.

TEMPERATURA			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	°C	23.6	25.2	23.6	25.6
Monit. 2	27/10/15	°C	21	21	20.4	17.9
Monit. 3	15/12/15	°C	18.7	17.1	16.1	13.1
Monit. 4	14/01/16	°C	17	17	14.3	11.8
Monit. 5	11/02/16	°C	20.2	19.1	18.3	18.6
Monit. 6	21/03/16	°C	16.7	17	15.6	14.1
Promedio	-	°C	19.5	19.4	18.1	16.9
Desviación estándar	-	°C	2.6	3.3	3.5	5.1

Figura N° 41: Variación de los valores de temperatura según puntos de monitoreo.



En SH5 se observa la disminución de la temperatura a lo largo del periodo de monitoreo. Por lo que este punto mostró mayor variación, desde 25.6 °C (monitoreo 1) hasta 14.1 °C (monitoreo 6).



7.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

En el Cuadro N° 56 se observa los valores del pH en cada punto de toma de muestra en la línea de agua (promedio y desviación estándar), con la finalidad de observar cambios que pudo haber ocurrido al momento de ejecutar las recomendaciones de operación a la EDAR.

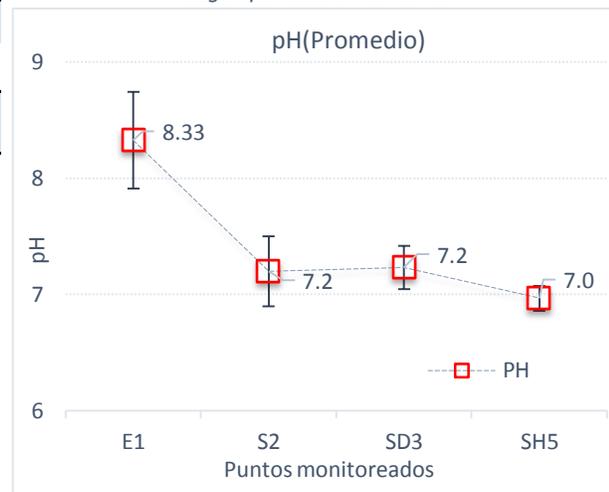
En la Figura N° 42 se observa el valor del pH promedio en la entrada (E1), teniendo una mayor variación debido a que la calidad de agua de ingreso es muy variable en calidad.

Los 3 puntos restantes se mantienen casi constantes (con muy poca variación). Sin embargo, se resalta la salida del humedal por mantenerse más estable.

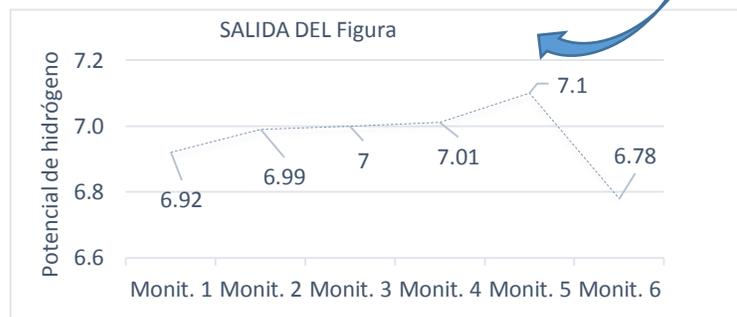
Cuadro N° 56: Resultado del potencial de hidrógeno en la línea de agua.

pH	MUESTRA				
	E1	S2	SD3	SH5	
Monitoreo	Fecha	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	8.29	7.61	7.21	6.92
Monit. 2	27/10/15	8.02	7.15	7.36	6.99
Monit. 3	15/12/15	7.71	7	7.18	7
Monit. 4	14/01/16	8.65	7.04	7.2	7.01
Monit. 5	11/02/16	8.46	7.53	7.5	7.1
Monit. 6	21/03/16	8.84	6.87	6.95	6.78
Promedio	-	8.33	7.2	7.2	7.0
Desviación estándar	-	0.42	0.3	0.2	0.1

Figura N° 42: Variación de los valores del potencial hidrógeno según puntos de monitoreo.



Se representa los valores obtenidos en la salida del humedal, observando que no existe demasiada variación a pesar de ser uno de los puntos donde varía mucho la temperatura. (Figura N° 41)



7.3 CONDUCTIVIDAD

En el Cuadro N° 57 se observa los valores de conductividad en cada punto de toma de muestra de la línea de agua, con la finalidad de observar cambios que pudo haber ocurrido al momento de ejecutar las recomendaciones de operación a la EDAR.

En la Figura N° 43 se observa el valor conductividad en la entrada (E1), teniendo una mayor variación, debido a que la calidad de agua no se mantiene constante.

Por otro lado, los valores a la salida del humedal (SH5) se mantienen más constante.

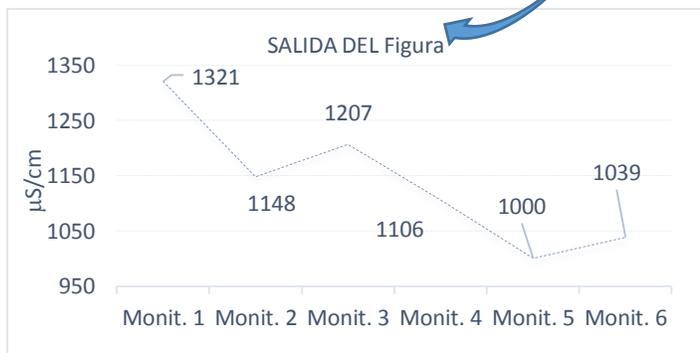
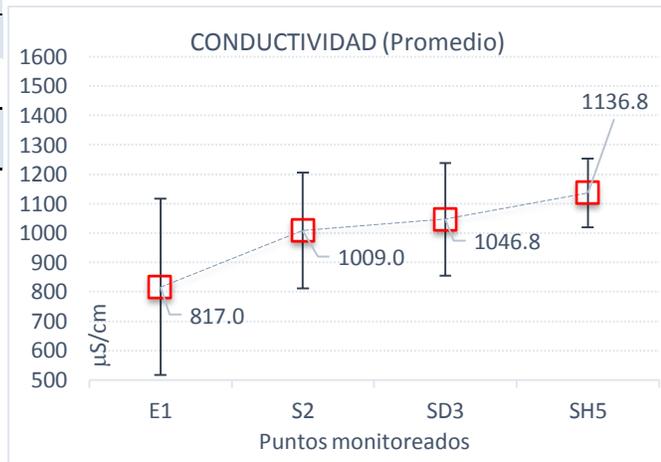
Cuadro N° 57: Resultado de la Conductividad en la línea de agua.

CONDUCTIVIDAD		MUESTRA			
		E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	μS/cm	872	1268	1315	1321
Monit. 2	μS/cm	551	852	932	1148
Monit. 3	μS/cm	620	1200	1212	1207
Monit. 4	μS/cm	1135	1056	1084	1106
Monit. 5	μS/cm	520	888	920	1000
Monit. 6	μS/cm	1204	790	818	1039
Promedio	μS/cm	817	1009	1047	1137
Desviación estándar	μS/cm	301	197	191	117

Fuente: Elaboración propia.

La salida del humedal muestra que los valores de la conductividad tienen menor variación. Sin embargo, es uno de los puntos con mayores valores de conductividad. Se podría deber a la formación de nitratos luego del proceso de nitrificación en el humedal.

Figura N° 43: Variación de los valores de conductividad según puntos de monitoreo.



7.4 SALINIDAD

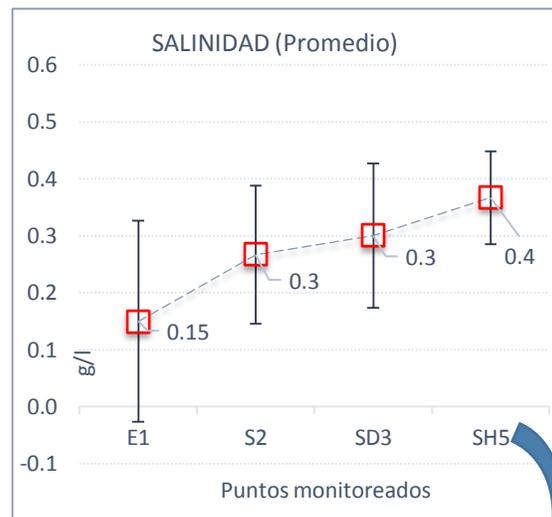
En el Cuadro N° 58 se observa los valores de salinidad en cada punto de toma de muestra y en todos los monitoreos realizados, con finalidad de observar cambios que pudo haber ocurrido al momento de ejecutar las recomendaciones de operación a la EDAR.

Cuadro N° 58: Resultado de la salinidad en la línea de agua.

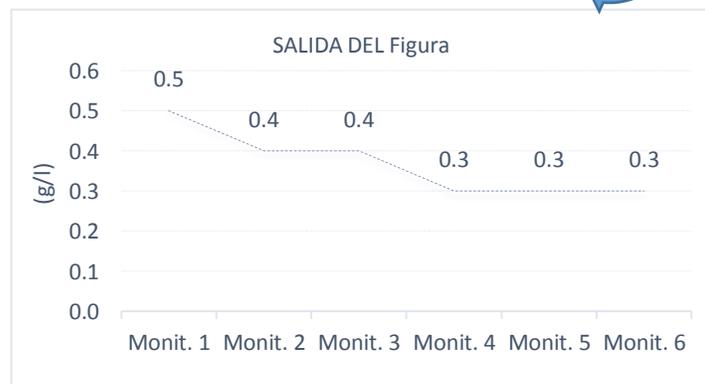
SALINIDAD			MUESTRA			
Monitoreo	Fecha	Unid.	E1	S2	SD3	SH5
			Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	g/l	0.2	0.4	0.5	0.5
Monit. 2	27/10/15	g/l	0	0.2	0.2	0.4
Monit. 3	15/12/15	g/l	0	0.4	0.4	0.4
Monit. 4	14/01/16	g/l	0.3	0.3	0.3	0.3
Monit. 5	11/02/16	g/l	0	0.2	0.2	0.3
Monit. 6	21/03/16	g/l	0.4	0.1	0.2	0.3
Promedio		g/l	0.15	0.3	0.3	0.4
Desviación estándar		g/l	0.18	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 44: Variación de los valores de salinidad según puntos de monitoreo.



La salida del humedal presenta una menor variación a comparación a los puntos anteriores, además que en este punto se da los mayores valores registrados a los largo del monitoreo.



7.5 OXÍGENO DISUELTO (OD)

En el Cuadro N° 59 se observa los valores obtenidos del oxígeno disuelto en cada punto de toma de muestra de la línea de agua y en los 6 monitoreos realizados, con la finalidad de observar los problemas que pudo haber existido en su momento con los cambios realizados en la EDAR.

En la Figura N° 45 se observa el valor del OD promedio con su respectiva desviación estándar, notándose para de la salida del sedimentador (S2) las variaciones del oxígeno se mantienen muy variables, caso contrario de los puntos de la salida del decantador lamelar (SD3) y salida del humedal (SH5) que resultaron más estables.

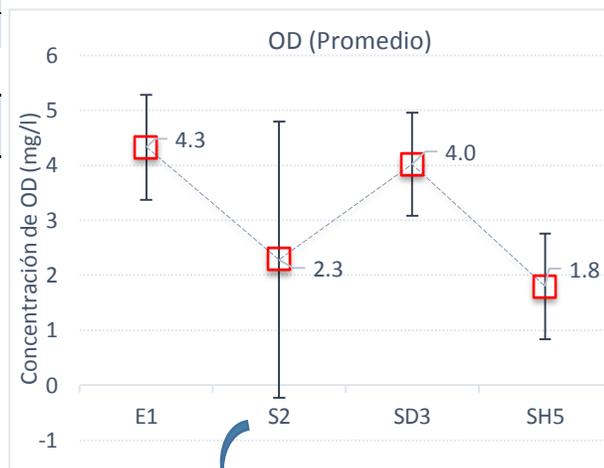
Cuadro N° 59: Resultado del oxígeno disuelto en la línea de agua.

OD	MUESTRA					
	E1	S2	SD3	SH5		
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medidos en campo			
Monit. 1	22/09/15	mg/l	3.4	6.8	4.7	2.2
Monit. 2	27/10/15	mg/l	4.1	2.4	5.1	1.3
Monit. 3	15/12/15	mg/l	4.4	1.1	2.6	3.5
Monit. 4	14/01/16	mg/l	5.8	0.2	3.8	2.0
Monit. 5	11/02/16	mg/l	4.9	3.1	3.4	0.9
Monit. 6	21/03/16	mg/l	3.3	0.2	4.5	1.1
Promedio	-	mg/l	4.3	2.3	4.0	1.8
Desviación estándar	-	mg/l	1.0	2.5	0.9	1.0

Fuente: Elaboración propia.

En el punto de salida del sedimentador se observa que al inicio se obtuvo valores muy variables, debido a los cambios realizados en el reactor y sedimentador, por ejemplo: el incremento de la recirculación, daño del sistema de aireación, proceso de nitrificación variación del tiempo de arranque y paro de la soplante.

Figura N° 45: Variación de los valores de oxígeno disuelto según puntos de monitoreo



7.6 PORCENTAJE DE SATURACIÓN

En el Cuadro N° 60 se observa los valores obtenidos del porcentaje de saturación en cada punto de toma de muestra de la línea de agua y en los 6 monitoreos realizados, con la finalidad de observar los problemas que se pudo existir en su momento con los cambios realizados en la EDAR.

El oxígeno disuelto está relacionado directamente con porcentaje de saturación, mostrándose claramente las mismas variaciones obtenidas por el oxígeno disuelto

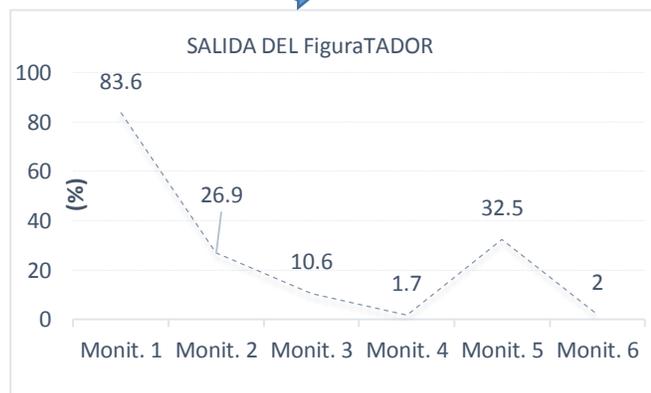
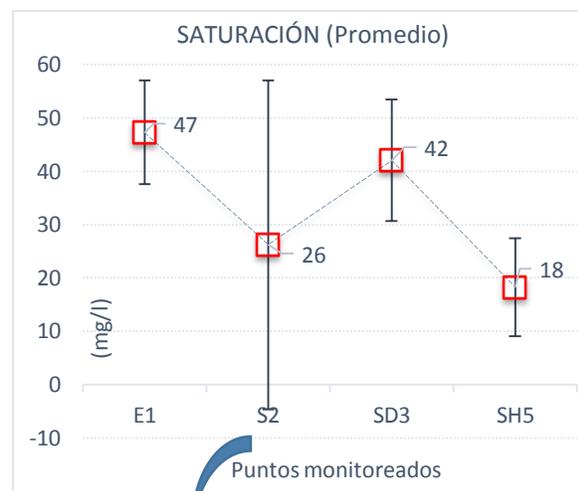
Cuadro N° 60: Resultado del % de saturación en la línea de agua.

%SATURACIÓN			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	%	41	84	56	26
Monit. 2	27/10/15	%	45	27	54	13
Monit. 3	15/12/15	%	48	11	27	32
Monit. 4	14/01/16	%	62	2	37	18
Monit. 5	11/02/16	%	54	33	35	9
Monit. 6	21/03/16	%	34	2	43	10
Promedio		%	47	26	42	18
Desviación estándar		%	10	31	11	9

Fuente: Elaboración propia.

Se puede contrastar que sufre las mismas variaciones que el oxígeno disuelto mostrados en la Figura N° 45.

Figura N° 46: Variación de los valores del % de saturación según puntos de monitoreo.



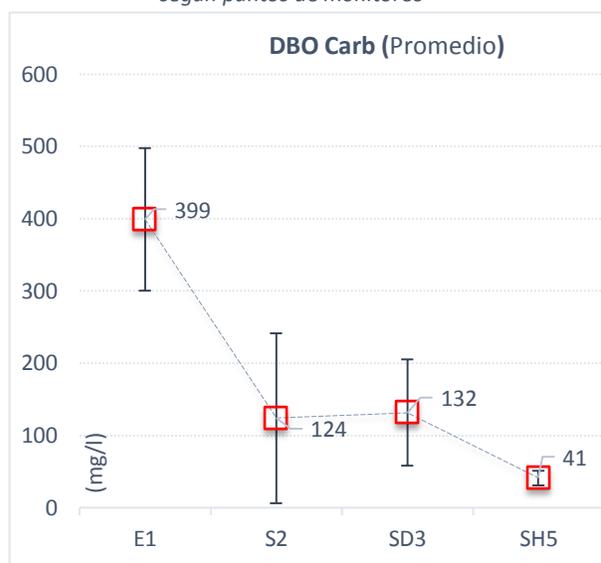
7.7 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO CARBONOSA (DBO_{lim} carbonosa)

La DBO carbonosa es muy variable en los puntos de salida del sedimentador y salida del decantador lamelar. Sin embargo, la salida del humedal presenta unas variaciones mínimas a lo largo de los monitoreos.

Cuadro N° 61: Resultado de la DBO Carbonosa en la línea de agua.

DBO Carbonosa			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	mgO ₂ /l	280	122	121	41
Monit. 2	27/10/15	mgO ₂ /l	356	63	59	53
Monit. 3	15/12/15	mgO ₂ /l	474	327	253	30
Monit. 4	14/01/16	mgO ₂ /l	485	ND	185	33
Monit. 5	11/02/16	mgO ₂ /l	ND	109	94	54
Monit. 6	21/03/16	mgO ₂ /l	ND	ND	78	37
Promedio		mgO ₂ /l	399	124	132	41
Desviación estándar		mgO ₂ /l	98	117	74	10

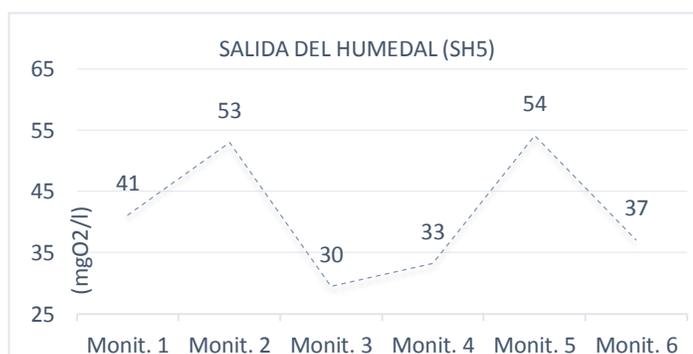
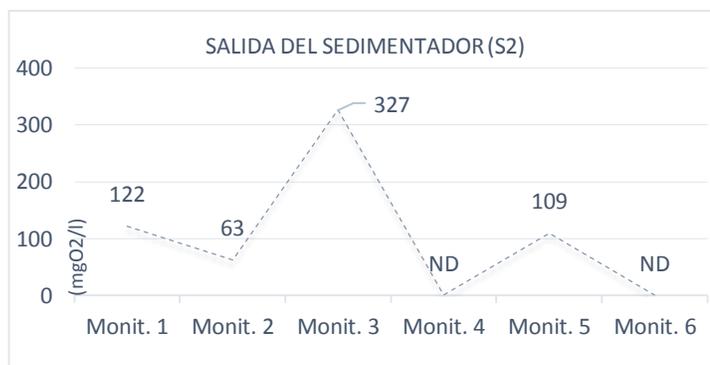
Figura N° 47: Variación de los valores de la DBO Carbonosa según puntos de monitoreo



En el punto S2 se muestra un valor muy alto de DBO carbonosa debido a una excesiva cantidad de fangos en el sedimentador (41040 mg/l), que hacía que se tomará muestras con flóculos en el efluente

En los monitoreos 4 y 6 la DBO carbonosa no se pudo definir debido a que según los valores obtenidos en el laboratorio no se pudo diferenciar entre el consumo de oxígeno por la degradación de la materia orgánica carbonosa y la nitrosa.

SH5 muestra una menor variación de la DBO_{lim} carbonosa a lo largo del periodo de monitoreo.



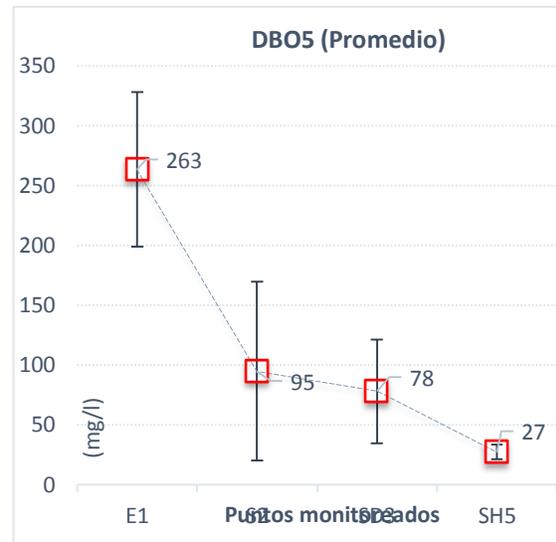
7.8 DEMANDA BIOLÒGICA DE OXÍGENO AL QUINTO DÍA

La DBO₅ a la salida del humedal muestra una menor variación a lo largo de lo monitoreos realizados, no obstante, no se logra cumplir los límites de vertido en todos los puntos de monitoreo.

Cuadro N° 62: Resultado de la DBO 5 en la línea de agua.

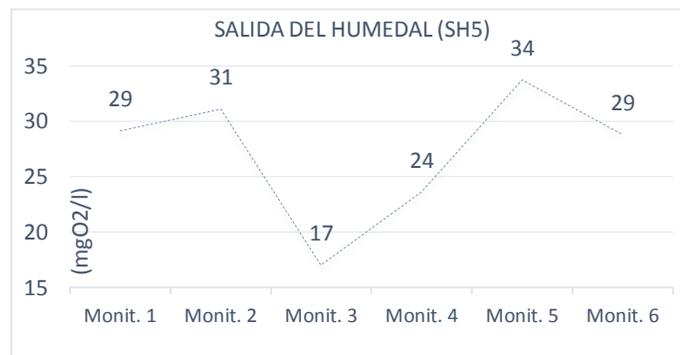
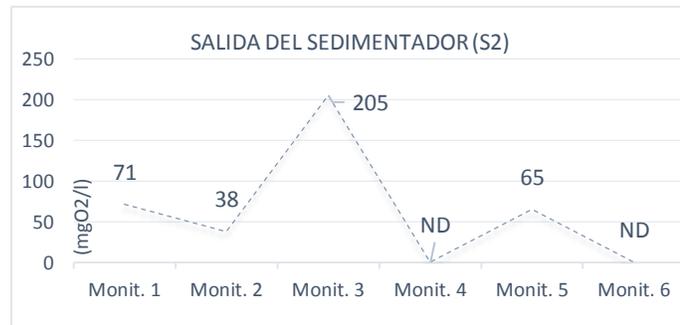
DBO ₅	MUESTRA					
	E1	S2	SD3	SH5		
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	mgO ₂ /l	184	71	72	29
Monit. 2	27/10/15	mgO ₂ /l	238	38	34	31
Monit. 3	15/12/15	mgO ₂ /l	322	205	150	17
Monit. 4	14/01/16	mgO ₂ /l	309	ND	107	24
Monit. 5	11/02/16	mgO ₂ /l	ND	65	57	34
Monit. 6	21/03/16	mgO ₂ /l	ND	ND	47	29
Promedio	-	mgO ₂ /l	263	95	78	27
Desviación estándar	-	mgO ₂ /l	65	75	43	6

Figura N° 48: Variación de los valores de la DBO₅ según puntos de monitoreo.



En los monitoreos 4 y 6 se tienen valores no definidos (ND) debido a que el consumo de la materia orgánica nitrada empieza días antes de lo esperado, por lo que ocurre un consumo de oxígeno al mismo tiempo de la materia orgánica carbonosa y nitrada.

La SH5 presenta valores más estables, sin embargo solo los puntos de monitoreo 3 y 4 cumplen con la normativa de vertimiento exigidas



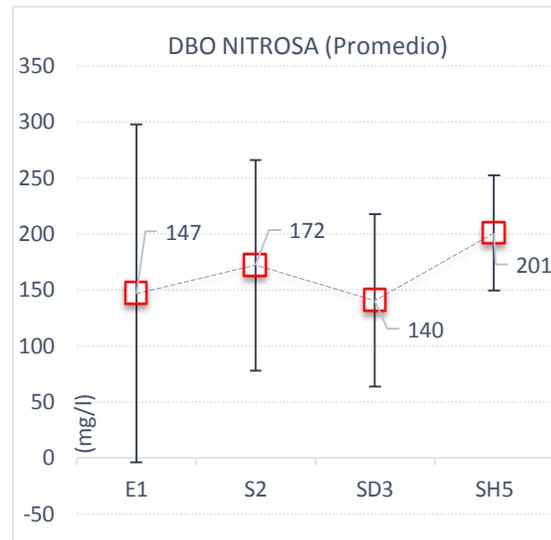
7.9 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO NITROSA

En la Figura N° 49 se observa una variación considerable de la DBO nitrosa a los largo del periodo de monitoreo.

Cuadro N° 63: Resultado de la DBO Nitrosa en la línea de agua.

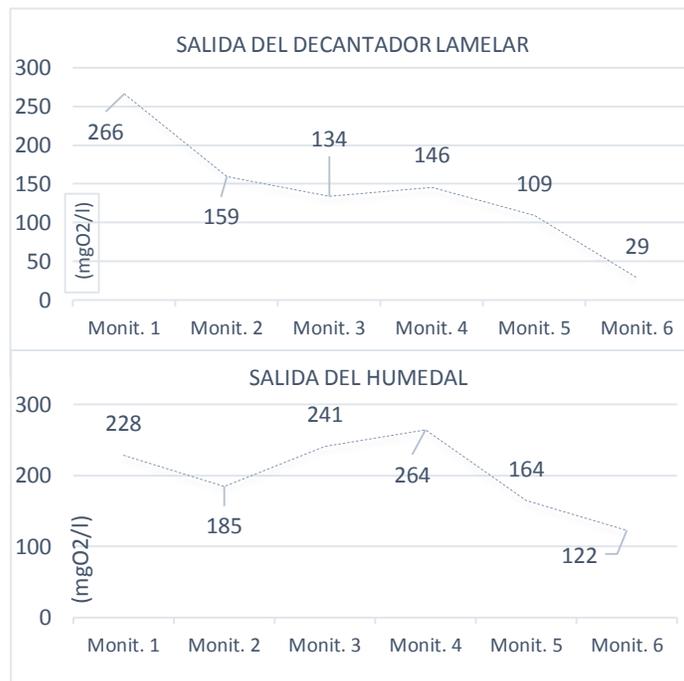
DBO Nitrosa			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	mgO2/l	129	279	266	228
Monit. 2	27/10/15	mgO2/l	57	135	159	185
Monit. 3	15/12/15	mgO2/l	36	ND	134	241
Monit. 4	14/01/16	mgO2/l	365	ND	146	264
Monit. 5	11/02/16	mgO2/l	ND	102	109	164
Monit. 6	21/03/16	mgO2/l	ND	ND	29	122
Promedio	-	mgO2/l	147	172	140	201
Desviación estándar	-	mgO2/l	151	94	77	51

Figura N° 49: Variación de los valores de la DBO Nitrosa según puntos de monitoreo.



La demanda de la materia orgánica nitrosa en SD3 a lo largo del monitoreo viene disminuyendo debido a que en la planta compacta se realizando el consumo de amonio en el proceso de nitrificación de manera paulatina.

En el punto de salida del humedal la DBO nitrosa se mantiene más constante a diferencia de los demás puntos. Sin embargo, este valor indica que aún existe materia orgánica nitrosa por estabilizar. Siendo el amonio final obtenida en el laboratorio quien demanda el oxígeno de la materia orgánica nitrosa y el cual no se llega a cumplir con la normativa de vertido.



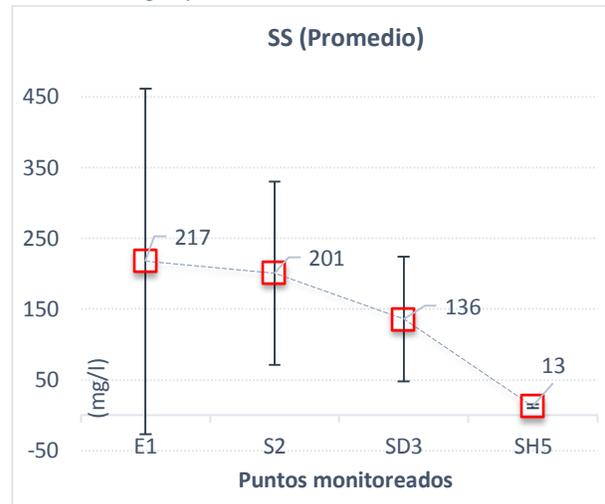
7.10 SÓLIDOS SUSPENDIDOS (SS)

Los sólidos suspendidos se observa en la Figura N° 50 que viene en disminución a los largo de la línea de agua, presentando una variación mayor en el punto de la entrada (E1).

Cuadro N° 64: Resultados de los SS en la línea de agua.

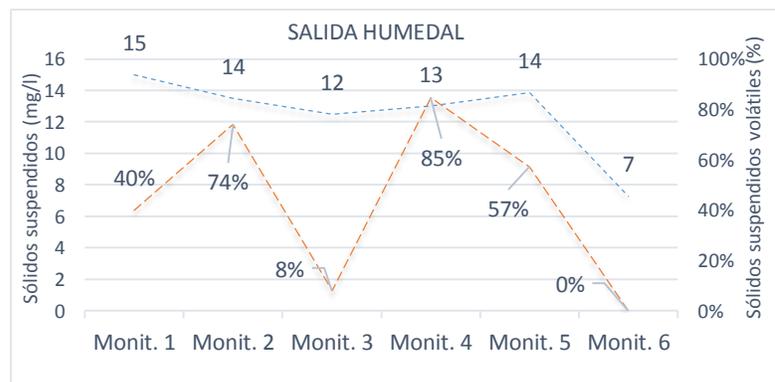
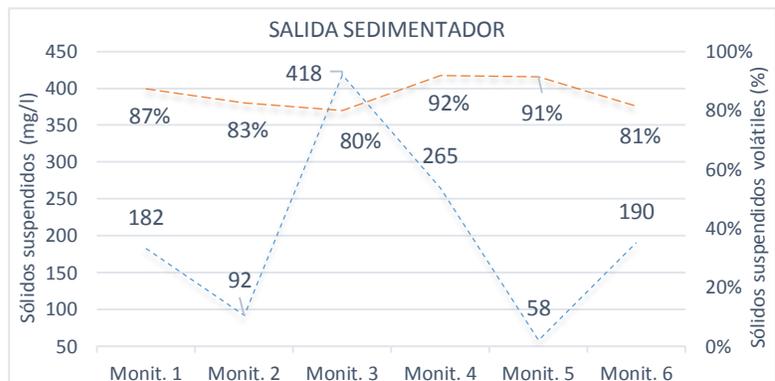
Sólidos suspendidos			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	mg/l	95	182	230	15
Monit. 2	27/10/15	mg/l	53	92	60	14
Monit. 3	15/12/15	mg/l	110	418	252	12
Monit. 4	14/01/16	mg/l	242	265	145	13
Monit. 5	11/02/16	mg/l	106	58	64	14
Monit. 6	21/03/16	mg/l	698	190	65	7
Promedio		mg/l	217	201	136	13
Desviación estándar		mg/l	244	130	88	3

Figura N° 50: Variación de los valores de los sólidos suspendidos según puntos de monitoreo.



Se puede observar en la salida del sedimentador que la concentración de SS son muy altos para ser un resultados final de un proceso oxidación total y un sedimentador.

Por lo que el decantador y el humedal tienen que realizar la remoción adicional para llegar hasta los valores de vertido, llegando en todo momento a cumplirlo únicamente por la ayuda de estos dos componentes.



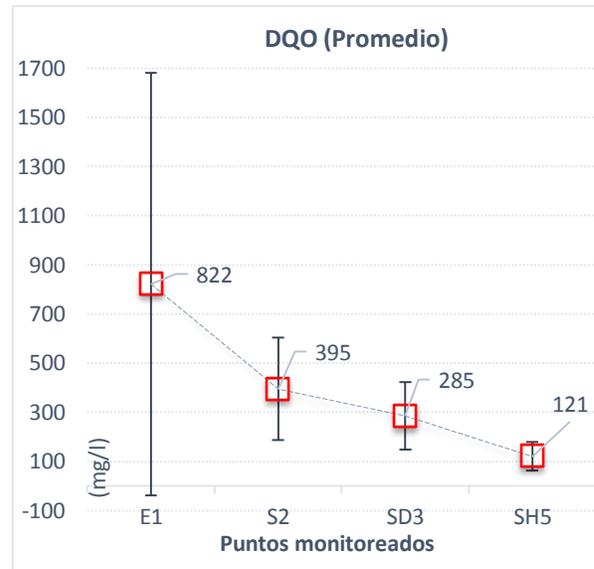
7.11 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Los valores de la DQO en la salida del decantador (SD3) y salida del humedal (SH5) son puntos que muestran menor variación. Mientras que la entrada (E1) presenta una gran variación debido a un valor puntual elevado tomado en el monitoreo N° 6.

Cuadro N° 65: Resultado de DQO en la línea de agua.

DQO			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 1	22/09/15	mgO ₂ /l	407	419	401	229
Monit. 2	27/10/15	mgO ₂ /l	417	166	152	98
Monit. 3	15/12/15	mgO ₂ /l	581	722	474	125
Monit. 4	14/01/16	mgO ₂ /l	587	525	331	89
Monit. 5	11/02/16	mgO ₂ /l	372	207	201	125
Monit. 6	21/03/16	mgO ₂ /l	2568	331	153	58
Promedio		mgO ₂ /l	822	395	285	120.7
Desviación estándar		mgO ₂ /l	860	208	137	59

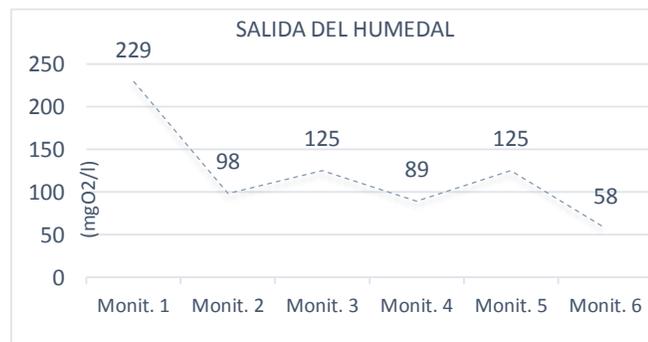
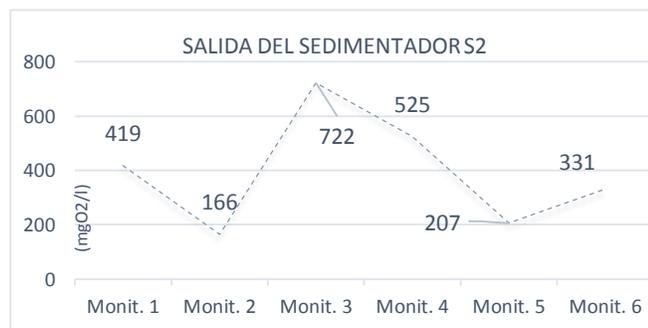
Figura N° 51: Variación de los valores de la DQO según puntos de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

Al final de los cambios y monitoreos realizados, la DQO en S2 se mantiene entre 200 y 330 mg/l (monitoreos N°5 y N°6).

Los valores en el punto de salida del humedal siempre cumplieron con los valores de vertido (125 mg/l), salvo el primer monitoreo, que corroboró el mal funcionamiento de la EDAR y fue uno de los parámetros a incluir en las mejoras del tren de tratamiento.



7.12 AMONIO

En la Figura N° 52 se muestran las variaciones del amonio en los puntos de toma de muestra de la línea de agua y en los 6 monitoreos realizados.

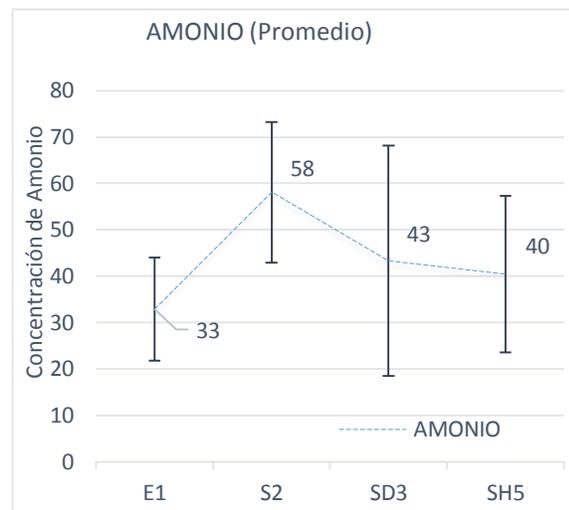
El rango de concentraciones en la entrada se encuentra entre 30 – 40 mg N/l de nitrógeno amoniacal, por lo que según los cálculos se tiene una contribución per cápita de nitrógeno total igual a 5 gr/hab/día con un 60 % de N amoniacal y un 40 % de nitrógeno orgánico (Arceivala,S.J.1981).

Cuadro N° 66: Resultado de en la línea de agua

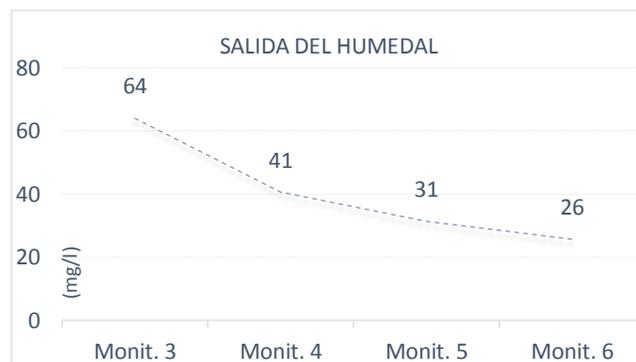
AMONIO			MUESTRA			
			E1	S2	SD3	SH5
Monitoreo	Fecha	Unid.	Parámetros medido en campo			
Monit. 3	15/12/15	mg/l	42	76	74	64
Monit. 4	14/01/16	mg/l	36	57	47	41
Monit. 5	11/02/16	mg/l	17	39	38	31
Monit. 6	21/03/16	mg/l	37	60	14	26
Promedio	-	mg/l	33	58	43	40
Desviación estándar	-	mg/l	11	15	25	17

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 52: Variación de los valores de amonio según puntos de monitoreo



Las concentraciones de amonio a lo largo de los monitoreos en la salida del humedal vienen disminuyendo. Sin embargo, aún no se ha cumplido con la normativa de vertido exigida (7mg N/l).



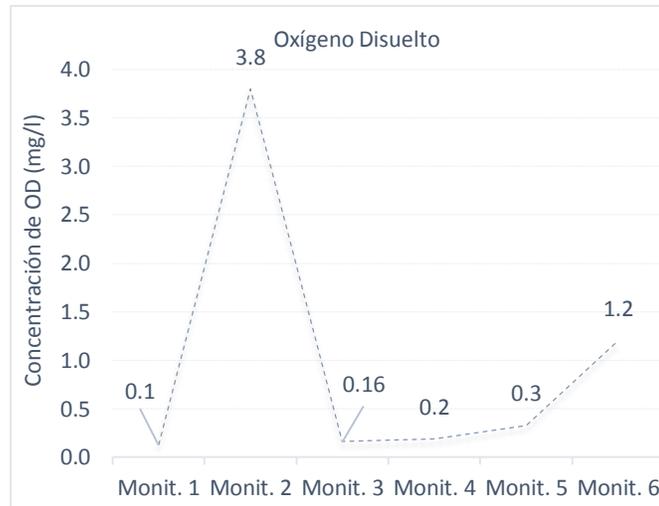
7.13 PARÁMETROS EN EL REACTOR BIOLÓGICO.

Los valores de OD en el reactor son variables hasta el monitoreo N°4. Sin embargo, en los monitoreos N°5 y N°6 se observa una mejora continua del OD debido a las propuestas de cambio de difusores y el cambio del periodo de arranque y de parada de la soplante. Estando próximos a llegar a los valores recomendados en el reactor de 2 mg/l.

Cuadro N° 67: Resultados del OD en el reactor.

OD	UNIDADES	MUESTRA REACTOR 6
Parámetros medidos en campo		
Monit. 1	mg/l	0.1
Monit. 2	mg/l	3.8
Monit. 3	mg/l	0.16
Monit. 4	mg/l	0.2
Monit. 5	mg/l	0.3
Monit. 6	mg/l	1.2
Prom.	mg/l	1.0

Figura N° 53: Variación del Oxígeno disuelto en el reactor.



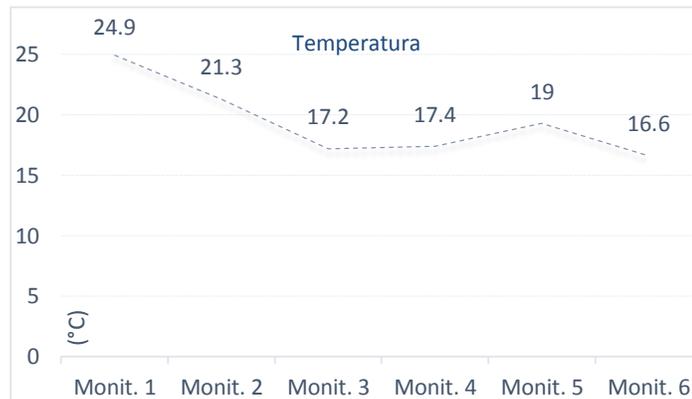
En la Figura N° 54 se muestra una disminución de la temperatura por la estación del año en la que se encontraba (otoño - invierno) (septiembre 2015 - marzo 2016).

La disminución de la temperatura dentro del reactor disminuye la velocidad de biodegradabilidad la materia orgánica. Siendo más difícil para las bacterias estabilizar la materia orgánica presente en el agua problema.

Cuadro N° 68: Resultados de temperatura.

TEMPERATURA	UNIDADES	MUESTRA REACTOR 6
Parámetros medidos en campo		
Monit. 1	°C	24.9
Monit. 2	°C	21.3
Monit. 3	°C	17.2
Monit. 4	°C	17.4
Monit. 5	°C	19
Monit. 6	°C	16.6
Promedio.	°C	19.5

Figura N° 54: Variación del Oxígeno disuelto en el reactor.

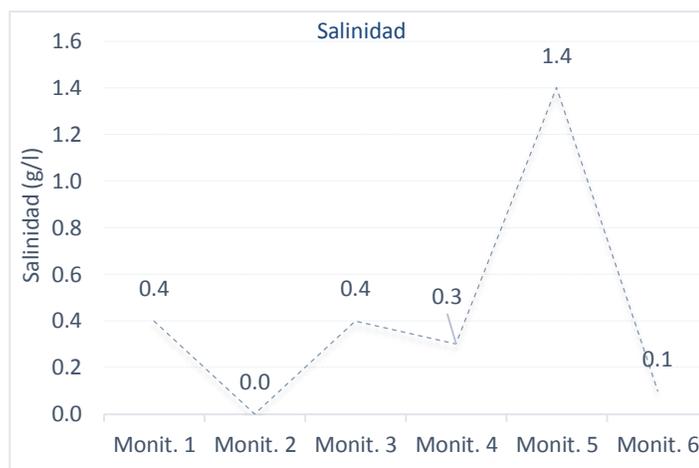


En la Figura N° 55 se muestra que la salinidad en el monitoreo N°5 se elevó considerablemente, coincidiendo con el cambio de difusores y la inoculación de fangos al reactor biológico.

Cuadro N° 69: Resultados de salinidad.

SALINIDAD	UNIDADES	MUESTRA
		REACTOR 6
Parámetros medidos en campo		
Monit. 1	g/l	0.4
Monit. 2	g/l	-
Monit. 3	g/l	0.4
Monit. 4	g/l	0.3
Monit. 5	g/l	1.4
Monit. 6	g/l	0.1
Promedio	g/l	0.5

Figura N° 55: Variación de la salinidad en el reactor.

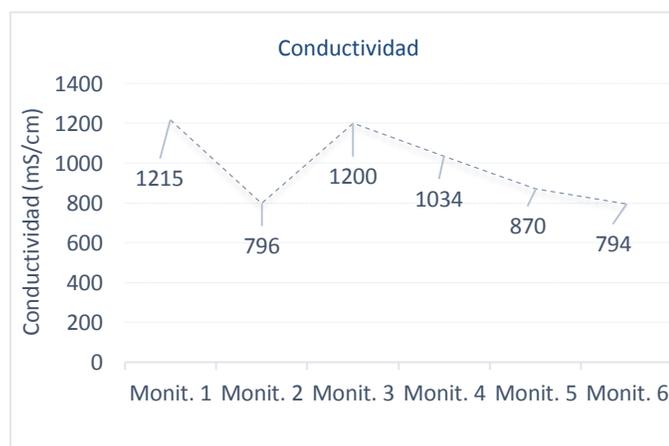


En la Figura N° 56 se muestra una disminución de los valores de la conductividad a partir del punto de monitoreo N°3.

Cuadro N° 70: Resultado de conductividad.

CONDUCTIVIDAD	UNIDADES	MUESTRA
		REACTOR 6
Parámetros medidos en campo		
Monit. 1	μS/cm	1215
Monit. 2	μS/cm	796
Monit. 3	μS/cm	1200
Monit. 4	μS/cm	1034
Monit. 5	μS/cm	870
Monit. 6	μS/cm	794
Promedio	μS/cm	985

Figura N° 56: Variación de la conductividad en el reactor.

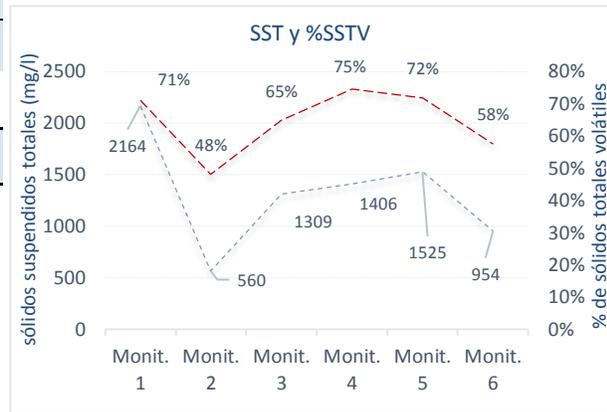


En la Figura N° 57 se observa la evolución de los sólidos suspendidos dentro del reactor, se muestra una mejora en la concentración hasta el monitoreo N°5. Sin embargo, en el monitoreo N°6 el valor disminuye siendo una situación desfavorable para la buena operación del reactor.

Cuadro N° 71: Resultado de ST, STV, STNV.

SS, SSV,STV Y STNV	(mg/l)	MUESTRA					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Parámetro medido en laboratorio							
SST		2164	560	1309	1406	1525	954
SSTV		1535	269	848	1048	1094	549
Reactor %SSTV		71%	48%	65%	75%	72%	58%
SSTNV		629	291	461	358	431	405
%SSTNV		29%	52%	35%	25%	28%	42%

Figura N° 57: Variación de los SST y porcentaje de los SSTV.



7.14 PARÁMETROS EN EL SEDIMENTADOR

En el Cuadro N° 72 se observan las concentraciones de los sólidos totales que sedimentaron en los primeros meses de monitoreo y que son demasiado altos, debido a no realizar una adecuada recirculación tanto en el tiempo y cantidad de recirculación (caso del monitoreo M3). Sin embargo, la concentración de fangos van disminuyendo hasta llegar a en un rango adecuado de funcionamiento (6000 - 10000 mg/l).

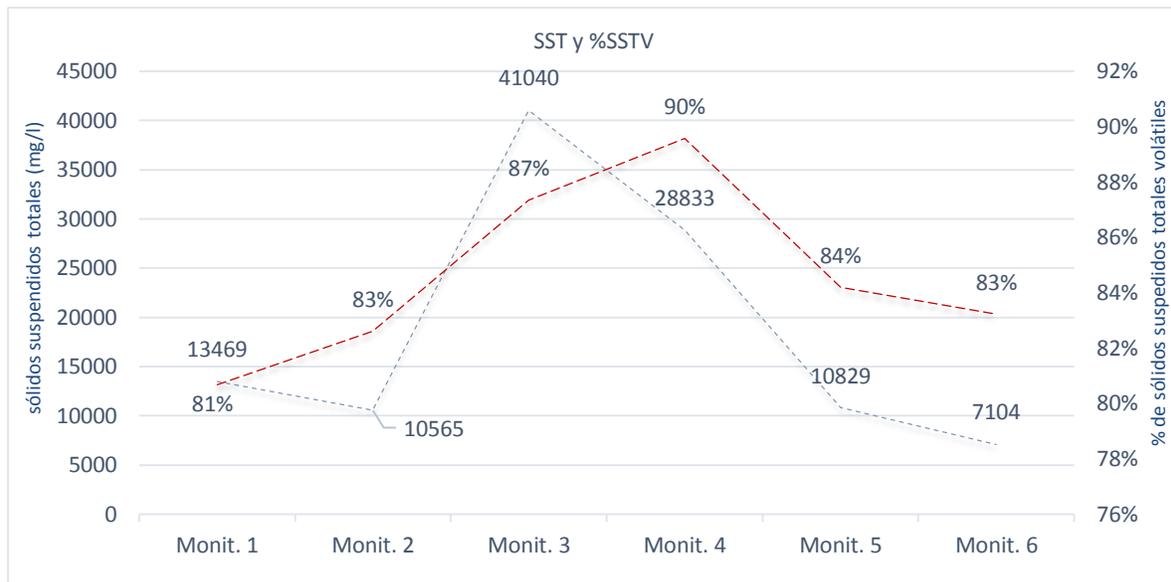
Cabe precisar que la automatización (mediante el temporizador) fue de mucha ayuda en el proceso de recirculación de los fangos del Venturi. Quedando la opción de optimizar la recirculación de fangos y seguir manteniendo el rango adecuado para una oxidación total de 6000 - 8000 mg/l en el sedimentador.

Cuadro N° 72: Resultados de ST, STV, STNV.

SS, SSV,STV Y STNV	(mg/l)	MUESTRA					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Parámetro medido en laboratorio							
SST		13469	10565	41040	28833	10829	7104
SSTV		10867	8728	35848	25827	9117	5912
Sedimentador %SSTV		81%	83%	87%	90%	84%	83%
SSTNV		2602	1837	5192	3006	1713	1192
%SSTNV		19%	17%	13%	10%	16%	17%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 58: Variación de los ST y porcentaje de SSTV



Fuente: Elaboración propia.

8. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO: TRH, TRC, PRODUCCIÓN DE FANGOS, PURGA DE FANGOS, CONSTANTES DE DEGRADABILIDAD CARBONOSA Y NITROSA.

(a) Tiempo de retención hidráulico (TRH)

El tiempo de retención hidráulico está calculado a partir del caudal promedio de agua residual que ingresa por día dividida por el volumen constante del reactor:

Cuadro N° 73: Cálculo de TRH real del reactor.

Tiempo de retención hidráulica real del reactor		
Parámetro	Unidad	
Volumen	m ³	2.4
Q promedio (*)	m ³ /día	2.1
F		2.25
Q punta	m ³ /día	4.73
TRH	h	27

Fuente: Elaboración propia

(*) Calculado a partir del consumo diario aprovechado en el abastecimiento y aplicando el porcentaje de retorno 85%.

En el Cuadro N° 74 se muestra el TRH en cada componente de tratamiento, donde se observa que el tiempo de retención hidráulico a lo largo del tren de tratamiento es de 5.5 días a caudal mínimo, 3.7 días a caudal promedio y 1.6 días para un caudal punta.

Cuadro N° 74: Tiempo de retención hidráulico en los componentes de tratamiento.

TRH		MUESTRA					TRH en el tren de tratamiento (día)
		Reactor (h)	Sedimentador (h)	Decantador (h)	Espesador (día) (*)	Humedal (h) (**)	
Tiempo de retención hidráulico operacional en horas							
Volumen	m ³	2.4	0.6	0.6	3.8	3.7	
Q min (***)	1.34 (m ³ /día)	43	11	11		67	5.5
Q prom.	2.1 (m ³ /día)	27	7	7	17.5	48	3.7
Q punta	4.73 (m ³ /día)	12	3	3	7.8	21	1.6

Fuente: Elaboración propia

(*) El caudal promedio y punta del espesador es 0.21 m³/día y 0.48 m³/día respectivamente. Único componente con TRH en días.

(**) El caudal del humedal ha sido calculado de la diferencia del efluente del decantador restado el afluente al espesador.

(***) Refiere al caudal del fin de semana (sábado - domingo)

El TRH a caudal punta de 12 horas en el reactor biológico es un tiempo adecuado. Sin embargo, dependerá mucho de la concentración de fangos que se tenga en el reactor. Siendo preciso mantener la concentración entre 3000 – 6000 mg/l.

(b) Relación de recirculación de fangos (r)

En el Cuadro N° 75 se han calculado las relaciones de circulación de fangos que se deberían de utilizar para obtener un adecuado caudal de recirculación de fangos del sedimentador hacia el reactor.

Cuadro N° 75: Relación de recirculación para diferentes días de tiempo de retención celular.

Factor (r)		MUESTRA					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Relación	TRC (d)	Valores de recirculación					
r	15	0.177	0.052	0.030	0.047	0.151	0.143
r	16	0.177	0.052	0.031	0.048	0.152	0.144
r	17	0.178	0.052	0.031	0.048	0.153	0.144
r	18	0.179	0.052	0.031	0.048	0.153	0.145
r	19	0.180	0.053	0.031	0.048	0.154	0.146
r	20	0.180	0.053	0.031	0.048	0.154	0.146

Fuente: Elaboración propia.

Luego de los resultados obtenidos en los monitoreos M5 y M6, se está seleccionado la recirculación para los 17 días de tiempo de retención celular.

En caudal de recirculación será un 0.15 del caudal promedio, calculado para las concentraciones de sólidos que se tiene en el reactor y sedimentador hasta el momento.

En el Cuadro N° 76 se muestra la cantidad de fangos (l/día) necesario para recircular y seguir incrementando las concentraciones del reactor. Para el presente proyecto se ha seleccionado un valor promedio de casi la tercera parte de volumen del sedimentador a recircular (300 l/día).

Cuadro N° 76: Cálculo del caudal de recirculación.

Q entrada = (m ₃ /día)	2.1	MUESTRA					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
TRC	unid	Q de recirculación (l/día)					
15	día	371	108	64	99	318	300
16	día	373	109	64	100	319	302
17	día	374	109	64	100	321	303
18	día	376	110	65	101	322	305
19	día	377	110	65	101	323	306
20	día	379	111	65	101	324	307

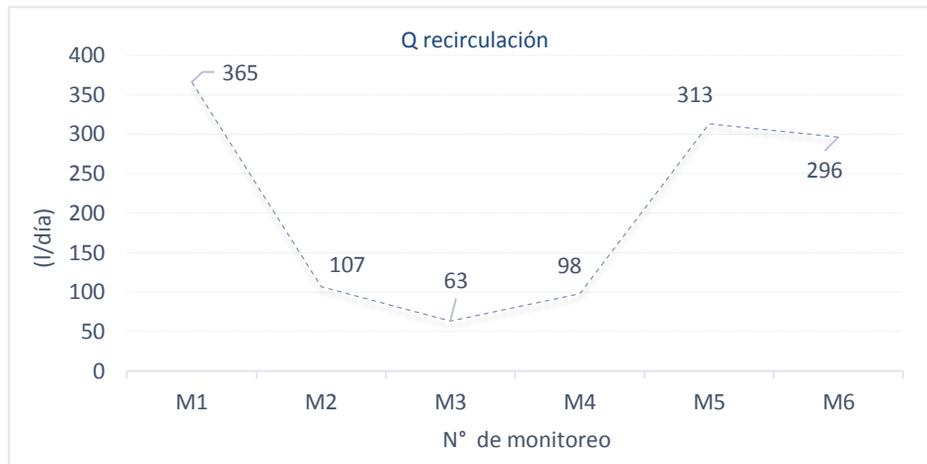
Fuente: Elaboración propia.

Se puede comentar que mientras se tenga concentraciones constantes en la recirculación del fango dentro sedimentador (tiempos de recirculación cortos) y para desear incrementar la concentración de sólidos totales en el reactor, la relación de recirculación tendrá que incrementarse y por lo tanto el caudal de recirculación será mayor, este proceso se realizará hasta que se logre la concentración deseada en el reactor biológico.

En la Figura N° 59 se observa los valores de caudales a recircular de fangos según la concentración de fangos que se iban consiguiendo en el reactor y en el sedimentador según los cambios realizados.

Por ejemplo en los monitoreos M2, M3 y M4 se tenía concentraciones de fangos muy altos en el sedimentador, es por ello que la relación de recirculación (r) resultaba pequeño y por ende el caudal de recirculación era pequeño. El problema de ello era que en ese periodo de monitoreo era difícil regular la cantidad de fangos a recircular con el sistema Venturi porque se realizaba de manera manual y la calidad del fango variaba a unos minutos del proceso de recirculación.

Figura N° 59: Valores de caudales a recircular según los monitoreos realizados.



Fuente: Elaboración propia.

(c) Producción y purga de fangos

En el Cuadro N° 77 se ha calculado la cantidad de producción de fangos que se obtendrán y la cantidad de fangos a purgar a partir de tiempos de retención celular de 15, 17 y 20 días, seleccionando los valores correspondientes para un tiempo de retención celular de 17 días.

Cuadro N° 77: Resultado de producción de fangos y caudal de purga.

Cantidad de producción de fangos y caudal de purgar									
TRC=17	Volumen (m³)	XSSTr (mg/l)	XSSTs (mg/l)	QAX (15 días) (g/día)	QAX (17 días) (g/día)	QAX (20 días) (g/día)	Qp (15 días) (l/día)	Qp (17 días) (l/día)	Qp (20 días) (l/día)
Monitoreo 1	2.4	2164	13469	346	306	260	26	22.7	19
Monitoreo 2	2.4	560	10565	90	79	67	8	7.5	6
Monitoreo 3	2.4	1309	41040	209	185	157	5	4.5	4
Monitoreo 4	2.4	1406	28833	225	198	169	8	6.9	6
Monitoreo 5	2.4	1525	10829	244	215	183	23	19.9	17
Monitoreo 6	2.4	954	7104	153	135	114	21	19.0	16
Promedio	2.4	1320	18640	211	186	158	15	13	11

Fuente: Elaboración propia.

Se observa también que para 20 días de retención celular la producción de fangos es menor (factor positivo para no tener que realizar la purga). Sin embargo, como el reactor se encuentra en déficit de microorganismos esta cantidad de producción se recircula y por ahora no hay necesidad de purgar los fangos.

El proceso por ahora es positivo, no se purga fangos y se incrementa la concentración en el reactor, no obstante en algún momento se alcanzará la concentración de trabajo óptimo del reactor por lo que se tendrá que realizar una purga de fangos de un volumen de 20 litros por día aproximadamente.

Es importante tener en cuenta los valores del Cuadro N° 78 que indican la cantidad de fangos que escapan en el efluente del sedimentador. Por ejemplo, para el monitoreo 6 se tienen 190 mg/l de sólidos saliendo en el efluente y con un caudal promedio de 2.1 m³/día se tienen en total 382 g/día de fangos que escapan del sedimentador.

A su vez para mantener un tiempo de retención celular de 17 días en el reactor, es necesario purgar en el sexto monitoreo un valor de 153 g/día de fangos (Cuadro N° 53), por lo que se estaría realizando el purgado indirectamente con la cantidad de sólidos en el efluente que se pierden.

Es importante observar que a pesar de corregir la purga de fangos necesarios en el sedimentador con los sólidos que se escapan en el efluente del mismo, los sólidos del efluente son de mayor concentración a lo necesario para la purga, perdiendo así parte de fangos que pueden servir para incrementar la concentración dentro del sedimentador y mejorar la concentración de fangos en el reactor al momento de la recirculación.

Cuadro N° 78: Fangos retirados con el efluente del sedimentador (S2).

Fangos perdidos en el efluente del sedimentador (S2)						
Monitoreo	SS en el efluente del sedimentador (S2) (mg/l)	Q prom. (m ³ /día)	Fangos retirados con el efluente (S2) (g/día)	Cantidad de fangos a purgar en el sedimentador (g/día)	Fangos perdidos para recircular (g/día)	Purga
Monit 1	182	2.1	382	346	36	Exceso purga
Monit 2	92	2.1	193	90	104	Exceso purga
Monit 3	418	2.1	878	209	668	Exceso purga
Monit 4	265	2.1	557	225	332	Exceso purga
Monit 5	58	2.1	122	244	-122(*)	Necesidad de purga
Monit 6	190	2.1	399	153	246	Exceso purga

Fuente: Elaboración propia.

(*) Indica que la cantidad de sólidos que se escapan por el efluente del sedimentador no es suficiente para corregir la cantidad de purga necesaria, por lo que se tendrá que purgar desde el sedimentador.

(d) Tiempo de retención celular (TRC)

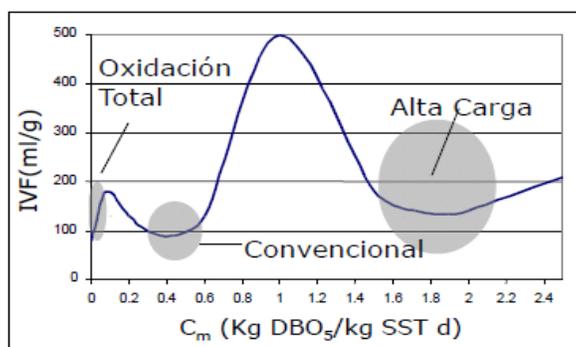
El reactor biológico instalado no contaba con un sistema de recirculación de fangos, por tal motivo se instaló un sistema de recirculación (Venturi). Asimismo el reactor no cuenta con un digester de fangos, por lo que se tendrá que realizar la estabilización de fangos dentro del reactor biológico.

Debido a esto se planteará que el reactor funcione como un proceso de oxidación total con un tiempo de retención celular de 17 días.

(e) Carga másica

Según la Figura N° 60 el valor de la carga másica para alcanzar una buena sedimentación en el proceso de oxidación total debería de ser menor a 0.12 kg DBO₅/kg SST d, para una temperatura mayor a 20°C y un valor de 0.07 kg DBO₅/kg SST d para valores de temperatura menores a 20°C. Sin embargo, con los valores obtenidos en los diferentes monitoreos no es posible alcanzar dichos valores, salvo el monitoreo N°1 (Cuadro N° 79).

Figura N° 60: Índice de HOHLMAN.



Cuadro N° 79: Resultados de la carga másica en el reactor biológico.

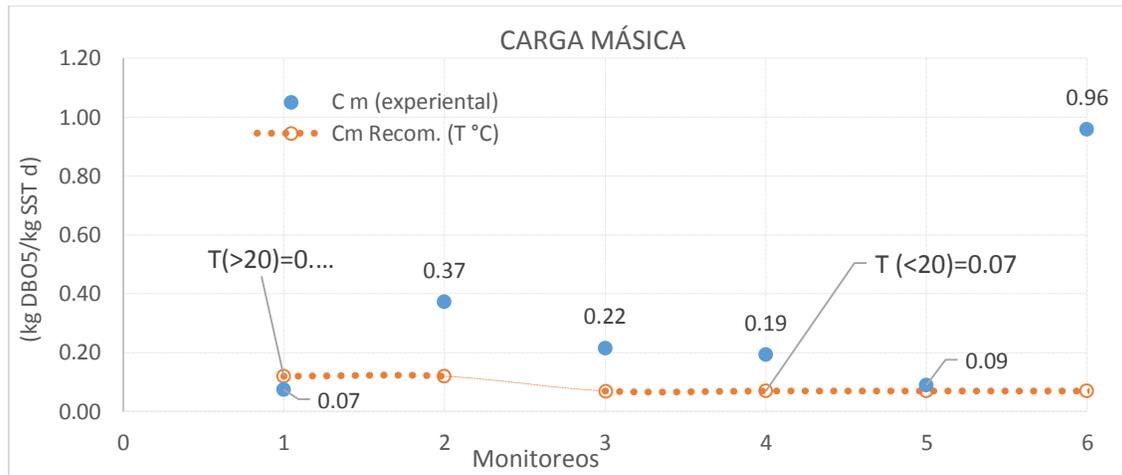
Carga másica (kg DBO ₅ /kg SST d)							
TRC=17	Q (m ³ /día)	V (m ³)	DBO ₅ (mg/l)	Xsstr (mg/l)	C m (experimental)	Cm Recom. (T °C)	Observación
Monitoreo 1	2.1	2.4	184	2164	0.07	0.12 (T>20°)	Cumple
Monitoreo 2	2.1	2.4	238	560	0.37	0.12 (T>20°)	No cumple
Monitoreo 3	2.1	2.4	322	1309	0.22	0.07 (T<20°)	No cumple
Monitoreo 4	2.1	2.4	309	1406	0.19	0.07 (T<20°)	No cumple
Monitoreo 5	2.1	2.4	156 (**)	1525	0.09	0.07 (T<20°)	No cumple
Monitoreo 6	2.1	2.4	1046 (*)	954	0.96	0.07 (T<20°)	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

(**) No se pudo obtener el valor de la DBO₅ debido a que la curva de consumo de oxígeno mostró el consumo tanto de la materia orgánica carbonosa y nitrosa de manera simultánea. Valor aproximado de la DBO₅ carbonosa.

(*) El valor fue puntual y muy alto, la carga másica es demasiado alta. Adicionalmente en la demanda del oxígeno no se pudo diferenciar el consumo de la materia orgánica carbonosa de la ni nitrosa.

Figura N° 61: Gráfica de carga másica obtenida VS la carga másica recomendada.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 61 se observa que con los valores de calidad en la entrada y la concentración de fangos en el reactor, la carga másica es mayor a los valores recomendados para que el reactor biológico pueda funcionar como un proceso en oxidación total.

Según los valores obtenidos el funcionamiento del reactor se aproxima más a un funcionamiento del sistema de tipo convencional. El cual no es uno de los objetivos del proyecto, por ende como la calidad del afluente es aproximadamente el mismo (salvo en ocasiones puntuales) se sigue buscando el incremento de la concentración de los fangos en el reactor biológico y llegar a rangos de carga másica bajos que describen el comportamiento de proceso de una oxidación total.

(f) Sistema de aireación

En el Cuadro N° 80 se muestra el ciclo de haber inyectado aire gracias a la soplante mediante los difusores. El ciclo total consta de 1 hora y 30 minutos, en el proyecto se ha dejado constante el tiempo del ciclo total y se ha variado el número de minutos de aireación y paro de la soplante.

Cuadro N° 80: Arranque y paro del sistema de la soplante.

Tiempo de aireación de la soplante			
TRC=17	Unid.	Tiempo de Aireación	Tiempo de paro
Monitoreo 1	min	85	5
Monitoreo 2	min	85	5
Monitoreo 3	min	80	10
Monitoreo 4	min	75	15
Monitoreo 5	min	80	10
Monitoreo 6	min	70	20
Post	min	60	30

Fuente: Elaboración propia.

Al final de los monitoreos se observó que se llega a una adecuada concentración de oxígeno en el reactor, con el ciclo de la soplante de 60 minutos de aireación y 30 minutos de paro. Por lo que se recomienda seguir manteniendo el mismo tiempo operación. No obstante, cuando se consiga incrementar la concentración de los fangos en el reactor se demandará mayor cantidad de oxígeno y ocurrirá una disminución de este. Por lo que dependiendo de los valores que se registre dentro del reactor se tendrá que variar el tiempo de aireación y de paro. Estos tiempos llegarán a estabilizarse cuanto se tengan las concentraciones estables y óptimas de fangos en el reactor.

(g) Cantidad de fangos recirculados por día.

La cantidad de fangos recirculados está dado principalmente por el número de veces y el tiempo en funcionamiento a la que se encuentran regulados el sistema Venturi y la bomba sobre la placa porosa como se muestra en el Cuadro N° 81 y Cuadro N° 82.

Con respecto a los tiempo de recirculación mediante el sistema Venturi, se observó en el transcurso de las modificaciones y monitores que al momento de realizar la recirculación y tras unos minutos de funcionamiento (3 a 4 minutos) la calidad del fangos variaba dentro del sedimentador (se observaba unos fangos recirculados cada vez más diluidos).

Esto llevo a tener la recirculación dos veces al día durante un minuto para el sistema Venturi. Sin embargo el sedimentador presenta como mínimo 150 litros de fangos en la zona de sedimentación, por lo que se tendría que aprovechar dicha cantidad aproximada

realizando un mayor número de veces al día, con un tiempo de duración de un minuto (esto es factible gracias al temporizador que se instaló en el sistema Venturi).

Cuadro N° 81: Número de veces y tiempo de recirculación en el sistema Venturi.

Caudal de recirculación de fangos por el VENTURI					
TRC=17	Aireación	Veces de Venturi (día)	T (min)	Q del Venturi (l/h)	Caudal ingresa al reactor (l/día)
Monitoreo 1	85/5	4	0.33	1061	24
Monitoreo 2	85/5	2	3	900	90
Monitoreo 3	80/10	2	2	1061	71
Monitoreo 4	75/15	1	5	900	75
Monitoreo 5	80/10	2	1	1061	35
Monitoreo 6	70/20	2	1	1061	35

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 82 se observa la cantidad de los fangos que se han recirculado desde la placa porosa, al inicio de los monitoreos no se tomó en cuenta estos fangos recirculados debido a que se trababa de una cantidad menor de fangos.

Al inicio de los monitoreos se realizaba una recirculación de dos veces al día y no se observaba problema alguno con esta recirculación. Sin embargo, luego de tener el problema de los fangos flotantes en la superficie del sedimentador, el número de veces se incrementó a 12 veces para llevar la mayor cantidad de fangos flotantes al reactor biológico.

Cuadro N° 82: Número de veces y tiempo de recirculación de la bomba sobre la placa

Caudal de recirculación de bomba placa				
TRC=17	Veces de Bomba (día)	T(min)	Q de la bomba(l/h)	Caudal ingresa al reactor (l/día)
Monitoreo 1	2	5	4000	667
Monitoreo 2	2	5	4000	667
Monitoreo 3	4	5	4000	1333
Monitoreo 4	2	5	4000	667
Monitoreo 5	2	5	4000	667
Monitoreo 6	12	5	4000	4000

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 83 se observa la cantidad de fangos a recircular con la bomba sobre la placa, variando el tiempo de recirculación, con la cual se considera realizar una disminución del tiempo de recirculación para este proceso.

Cuadro N° 83: Cantidad de fangos recirculados desde la placa porosa.

Cantidad de fangos recirculados VS el tiempo de recirculación					
Tiempo (min)	Veces de Bomba (día)	Q de la bomba(l/h)	Caudal ingresa al reactor (l/día)	XSST placa sed. (mg/l)	Cantidad de fango ingresa al reactor (g/día)
0.5	12	4000	400	4000	1600
1	12	4000	800	4000	3200
2	12	4000	1600	4000	6400
3	12	4000	2400	4000	9600
4	12	4000	3200	4000	12800
5	12	4000	4000	4000	16000
6	12	4000	4800	4000	19200

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de fangos recirculados al reactor será la suma del caudal recirculado mediante el sistema Venturi y la bomba sobre la placa, multiplicada por la concentración de fangos en la que se encuentra cada instalación.

Cuadro N° 84: Cantidad de fangos totales recirculados al reactor biológico

TRC=17	Fangos recirculados por Venturi			Fangos recirculados por la bomba			Total
	Caudal ingreso al reactor (l/día)	XSST sed. (mg/l)	Cantidad de fango ingresa al reactor (g/día)	Caudal ingreso al reactor (l/día)	XSST superf. sed. (mg/l)	Cantidad de fango ingresa al reactor (g/día)	Cantidad de fangos totales (g/día)
Monitoreo 1	24	13469	318	667	4000	2667	2984
Monitoreo 2	90	10565	951	667	4000	2667	3618
Monitoreo 3	71	41040	2903	1333	4000	5333	8236
Monitoreo 4	75	28833	2162	667	4000	2667	4829
Monitoreo 5	35	10829	383	667	8000	5333	5716
Monitoreo 6	35	7104	251	4000	4000	16000	16251

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 85 se muestra la cantidad de fangos necesarios y calculados para obtener un TRC de 17 días. Sin embargo, cantidad de fango recirculados por el sistema Venturi en la mayoría de los casos eran deficitarios, debido a que parte de los fangos sedimentaban sobre la placa porosa.

Asimismo, en el Cuadro N° 85 se muestran la cantidad total de fangos recirculados al reactor por el sistema Venturi y la bomba sobre la placa, observando que en los últimos monitoreos se sobrepasa la cantidad necesaria de fangos por día necesarios para el funcionamiento adecuado del reactor biológico.

Cuadro N° 85: Resumen de recirculación de fangos teórico y en campo

Comparación de recirculación de fangos			
Monitoreo	Fangos teórico a recircular (g/día)	Fango a recir. Por el Venturi (g/día)	Fangos a recir. por Venturi y bomba(g/día)
Monitoreo 1	4916	318	2984
Monitoreo 2	1130	951	3618
Monitoreo 3	2586	2903	8236
Monitoreo 4	2826	2162	4829
Monitoreo 5	3390	383	5716
Monitoreo 6	2103	251	16251

Fuente: Elaboración propia.

Se observa claramente que la recirculación de fangos desde el fondo del sedimentador no era suficiente para alcanzar a la cantidad de fangos necesarios para incrementar la concentración en el reactor.

Por ello, se plantea incrementar un mayor número de veces la recirculación con el sistema Venturi, igual a 6 veces durante un minuto en un día, con un caudal de 1061 l/h y suponiendo una concentración promedio de 10000 mg/l (aproximado), se recirculará una cantidad de 1061 g/día. De esta manera se mantendrá una calidad constante en la recirculación de fangos y se utilizaría un menor número de veces la bomba sobre la placa (que presenta una calidad variable de fangos).

(h) Constante de la DBO carbonosa y nitrosa en los puntos E1, S2 y SH5.

En el Cuadro N° 86 se muestra las ecuaciones del consumo de la materia orgánica carbonosa y la materia nitrosa, calculados según el procedimiento desarrollado en el capítulo 5.3 (f), la cual nos permitió encontrar las constantes de velocidad de biodegradabilidad de la materia orgánica carbonosa y de la constante de nitrificación.

Se ha tenido dificultades en el proceso de obtener las constantes de biodegradabilidad en los monitoreos 5 y 6 en los puntos de E1 y S2, debido a que al realizar la gráfica de los resultados obtenidos en la DBO al día 20 no se diferenciaba el consumo del oxígeno de la degradación de la materia orgánica carbonosa y del consumo de oxígeno por el proceso de la nitrificación, ocurriendo prácticamente al mismo instante.

Cuadro N° 86: Ecuación del consumo de la materia orgánica y las constantes de biodegradabilidad.

Monitoreo	Valores de K carbonosa y nitrosa, ENTRADA (E1)					Valores de K carbonosa y nitrosa, SALIDA (S2)					Valores de K carbonosa y nitrosa, SALIDA HUMEDAL (SH5)				
	Consumo mat. Carb.	K carb	K Corregido (T°C)	Consumo mat. Nitr.	K nitro	Consumo mat. Carb.	K carb	K Corregido (T°C)	Consumo mat. Nitr.	K nitro	Consumo mat. Carb.	K carb	K Corregido (T°C)	Consumo mat. Nitr.	K nitro
Monit. 1	$y = 280e^{-0.181x}$	0.181	0.214	$y = 129e^{-0.351x}$	0.351	$y = 122.3e^{-0.176x}$	0.176	0.223	$y = 279.55e^{-0.307x}$	0.307	$y = 41.4e^{-0.202x}$	0.202	0.261	$y = 228.3e^{-0.212x}$	0.212
	$R^2 = 0.9815$		23.6	$R^2 = 0.6997$		$R^2 = 0.9532$		25.2	$R^2 = 0.9151$		$R^2 = 0.9541$		25.6	$R^2 = 0.9511$	
Monit. 2	$y = 356.2e^{-0.187x}$	0.187	0.196	$y = 56.7e^{-0.176x}$	0.176	$y = 62.5e^{-0.18x}$	0.18	0.188	$y = 134.6e^{-0.199x}$	0.199	$y = 53e^{-0.177x}$	0.177	0.161	$y = 184e^{-0.193x}$	0.193
	$R^2 = 0.9758$		21	$R^2 = 0.9822$		$R^2 = 0.9558$		21	$R^2 = 0.9615$		$R^2 = 0.9536$		17.9	$R^2 = 0.9582$	
Monit. 3	$y = 474.4e^{-0.196x}$	0.196	0.185	$y = 36.4e^{-0.183x}$	0.183	$y = 369e^{-0.194x}$	0.194	0.170	Valores superiores al rango sembrado (**)	$y = 29.5e^{-0.175x}$	0.175	0.127	$y = 240.7e^{-0.297x}$	0.297	
	$R^2 = 0.9572$		18.7	$R^2 = 0.9795$		$R^2 = 0.9564$		17.1		$R^2 = 0.9524$		13.1	$R^2 = 0.9264$		
Monit. 4	$y = 485.4e^{-0.187x}$	0.187	0.163	$y = 364e^{-0.175x}$	0.152	$y = 509.2e^{-0.171x}$	0.17	0.148	Valores superiores al rango sembrado (**)	$y = 33.2e^{-0.204x}$	0.204	0.140	$y = 263.9e^{-0.16x}$	0.160	
	$R^2 = 0.9584$		17	$R^2 = 0.9844$		$R^2 = 0.948$		17		$R^2 = 0.952$		11.8	$R^2 = 0.9951$		
Monit. 5	$y = 268.8e^{-0.183x}$	0.183	0.185	Degradación de mat. Carbo. y nitrosa (*)		$y = 108.8e^{-0.178x}$	0.178	0.171	$y = 101.95e^{-0.304x}$	0.304	$y = 54.1e^{-0.184x}$	0.184	0.173	$y = 167.8e^{-0.357x}$	0.357
	$R^2 = 0.9574$		20.2			$R^2 = 0.955$		19.1	$R^2 = 0.6118$		$R^2 = 0.9576$		18.6	$R^2 = 0.9222$	
Monit. 6	$y = 1472.6e^{-0.237x}$	0.237	0.204	Degradación de mat. Carbo. y nitrosa (*)		$y = 193.8e^{-0.21x}$	0.21	0.183	Degradación de mat. Carbo. y nitrosa (*)		$y = 37.1e^{-0.224x}$	0.224	0.171	$y = 122e^{-0.322x}$	0.322
	$R^2 = 0.9003$		16.7			$R^2 = 0.9398$		17			$R^2 = 0.929$		14.1	$R^2 = 0.6751$	

Fuente: Elaboración propia.

K corregido (T°C): Valores corregidos a la temperatura real de la constante de biodegradabilidad que fue calculada a de 20°C.

(*): En el consumo de oxígeno no se pudo diferenciar el consumo por parte de la degradación de la materia Carbonosa y nitrosa.

(**): El rango usado para sembrar la DBO fue inferior y no resultó posible realizar la medición del consumo de la materia nitrosa.

En el Cuadro N° 87 se observa los valores de las constantes de biodegradabilidad, siendo un promedio para la constante de biodegradación carbonosa de los puntos E1, S2 y SH5 de 0.190, 0.180 y 0.172 día⁻¹ y para la constante de la DBO nitrosa se encuentra entre valores de 0.216, 0.306 y 0.289 día⁻¹.

<i>Cuadro N° 87: Constante de velocidad de biodegradabilidad carbonosa y constante de nitrificación.</i>						
Valores de las constantes de biodegradabilidad (K) carbonosa y nitrosa						
Monitoreo	K carb. y nitrosa, ENTRADA (E1)		K carb. y nitrosa, SALIDA (S2)		K carb. y nitrosa, SALIDA HUMEDAL (SH5)	
	K Carb. Corregido (T °C)	K nitro Corregido (T °C)	K Carb. Corregido (T °C)	K nitro Corregido (T °C)	K Carb. Corregido (T °C)	K nitro Corregido (T °C)
Monit. 1	0.214	0.431	0.223	0.414	0.261	0.292
	23.6 (°C)		25.2 (°C)		25.6 (°C)	
Monit. 2	0.196	0.186	0.188	0.211	0.161	0.171
	21 (°C)		21		17.9 (°C)	
Monit. 3	0.185	0.170	0.17	(**)	0.127	0.200
	18.7 (°C)		17.1 (°C)		13.1 (°C)	
Monit. 4	0.163	0.128	0.148	(**)	0.14	0.100
	17 (°C)		17 (°C)		11.8 (°C)	
Monit. 5	0.185	(*)	0.171	0.289	0.173	0.329
	20.2 (°C)		19.1 (°C)		18.6 (°C)	
Monit. 6	0.204	(*)	0.183	(*)	0.171	0.23
	16.7 (°C)		17 (°C)		14.1 (°C)	
PROMEDIO	0.190	0.229	0.183	0.304	0.172	0.220
Desviación estándar	0.021	0.137	0.0252	0.1023	0.0471	0.0831

Fuente: Elaboración propia.

(i) Carga superficial y carga de sólidos en el sedimentador.

Con respecto a los valores de la carga superficial según los valores que se muestran en el Cuadro N° 88, la carga superficial calculada a partir de los valores de diseño del sedimentador no cumple con los valores recomendados, teniendo que realizar cambios en el sedimentador como por ejemplo el incremento de la altura aproximadamente en 2 metros o una disminución del área la cual no resulta factible.

Posiblemente la placa porosa sirva para contrarrestar la altura con la que no cuenta el sedimentador, funcionando como un filtro que dificulta el paso del agua y disminuyendo así la velocidad de ascensión. Sin embargo, debido a tratarse de una EDAR compacta no se conoce exactamente el criterio hidráulico (diseño y función) de la placa porosa.

Cuadro N° 88: Valores de carga superficial y carga de sólidos en el sedimentador.

Carga superficial y Carga de sólidos		PARÁMETROS					
		Carga superficial m ³ /m ² /día	Carga superficial teórica m ³ /m ² /día	Comprobación CS vs CS teórica (f)	Carga superficial recomendado m ³ /m ² /día	Carga de Sólidos (Kg SS/m ² .h)	Carga de sólidos recomendado (Kg SS/m ² .h)
Análisis de parámetros de diseño del sedimentador.							
h	m	0.9	0.9				
Volumen	m ³	0.9	0.9	(0.65-0.85)			
Q prom.	2.1 (m ³ /día)	2.10	3.09	0.681	8 - 16 (*)	0.105	1 - 3 (1.8) (*)
Q punta	4.73 (m ³ /día)	4.73	7.20	0.657	22 - 32 (*)	0.237	< 7 (3.3) (*)

Fuente: Elaboración propia.

(*) Corresponden a los valores típicos para aguas residuales urbanas para conseguir menos de 30 mg/l de SS en el efluente del decantador.

Para alcanzar los valores recomendados de diseño en la carga de sólidos, se tendría que disminuir el área de sedimentación prácticamente a la tercera parte, lo cual no es factible para el sedimentador.

9. EVALUACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

El humedal de flujo horizontal construido en la EDAR viene operando de manera adecuada. Sin embargo, se intentará rediseñar el humedal manteniendo constantes las dimensiones construidas para observar las cargas máximas a las que puede trabajar el humedal hasta mantener niveles de calidad en el efluente que cumplan con la normativa de vertido.

En el Cuadro N° 89 se observa la que el humedal viene funcionando adecuadamente en los dos últimos monitoreos (mayores cambios en el reactor biológico), trabajando con un carga menor a 6 g DBBO₅ /m²día.

Cuadro N° 89: Valores de la carga orgánica por m² que ingresa al humedal

Monitoreo	DBO ₅ afluente	DBO ₅ efluente	A construida (m ²)	Q ingreso (m ³ /día)	Carga (g DBO ₅ /m ² día)
Monit 1	72.0	29.0	23.4	2.1	6.5
Monit 2	34.0	31.0	23.4	2.1	3.1
Monit 3	150.0	17.0	23.4	2.1	13.5
Monit 4	107.0	24.0	23.4	2.1	9.6
Monit 5	57.0	34.0	23.4	2.1	5.1
Monit 6	47.0	29.0	23.4	2.1	4.2

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 90 se tienen los valores seleccionados para el diseño del humedal existente.

Cuadro N° 90: Valores considerados en el diseño del humedal

Parámetros	Valores	Unidades
Caudal (Q)	2.5	m ³ /día
Altura (h)	0.4	m
Porosidad	0.3	
Conductividad Hidráulica	210	m ³ /m ² /día
n pendiente	0.01	m/m

Fuente: Elaboración propia.

El humedal se ha diseñado para un caudal de 2.5 m³/día y se ha mantenido constante las dimensiones de ancho (w), largo (l) y alto (H) del humedal construidas en la actualidad.

En el Cuadro N° 91 se muestran los valores de Ka a las que venían trabajando el humedal según la carga que ingresaba en los 6 monitoreos realizados.

Cuadro N° 91: Diseño del humedal artificial

Monitoreo	DBO _{5 a} (mg/l)	DBO _{5 e} (mg/l)	Ka (*) (m/d)	Área Vertical (m ²)	Ancho (m)	L (m)	L/A	TRH (días)	Área diseñada (m ²)	Área construida (m ²)
Monit 1	72.0	29.0	0.097	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4
Monit 2	34.0	31.0	0.010	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4
Monit 3	150.0	17.0	0.233	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4
Monit 4	107.0	24.0	0.160	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4
Monit 5	57.0	34.0	0.055	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4
Monit 6	47.0	29.0	0.052	1.2	3.0	7.9	2.6	1.1	23.4	23.4

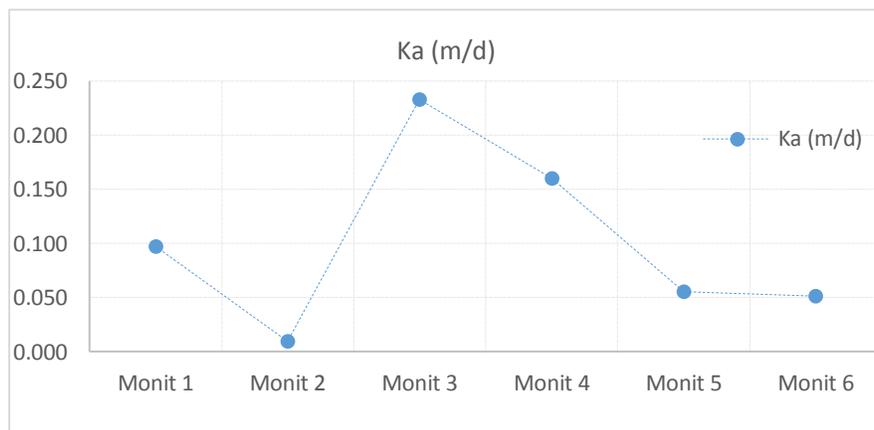
Fuente: Elaboración propia.

(*)Ka: Constante cinética de primer orden. Siendo los valores adecuados para la eliminación de DBO y nitrógeno los valores recomendados de 0.08 y 0.025 m/d respectivamente.

En la Figura N° 62 se muestran los valores de la constante cinética a las que viene trabajando el humedal, de los cuales se podrá obtener un valor de Ka promedio e intentar reflejar el verdadero funcionamiento del humedal construido.

Para la obtención del Ka promedio no se ha tomado en cuenta los valores de los monitoreos 2 y 3, debido a que son valores donde ingresa muy poca carga (34 mg/l) y demasiada carga (150 mg/l) respectivamente. El valor promedio de Ka resultó igual a 0.0909.

Figura N° 62: Valores de Ka según la carga que ingresa al humedal.



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 92 se muestra el diseño del humedal con los valores de Ka calculadas anteriormente y con las dimensiones fijas del humedal construido, variando únicamente las cargas de ingreso y la longitud necesaria para cumplir con la normativa de vertimiento (25 mg/l).

Los resultados obtenidos del diseño, muestran que el humedal no soporta cargas mayores a 60 mg/l. Por lo tanto, si llegasen valores mayores a 60 mg/l al afluyente del humedal no cumplirá con los límites de vertido propuestos en el efluente.

Con lo cual se trata de un diseño sub dimensionado, capaz de soportar un rango de carga menor a 60 mg/l.

Cuadro N° 92: Valores de carga que soporta en humedal construido.

Monitoreo	DBO ₅ a (mg/l)	DBO ₅ e (mg/l)	Ka (m/d)	Área vertical (m ²)	A (m)	L (m)	L/A	TRH (días)	Área diseñada (m ²)	Área construida (m ²)
Prueba 1	100.0	25.0	0.0909	1.2	3.0	12.8	4.3	1.8	38.12	23.4
Prueba 2	80.0	25.0	0.0909	1.2	3.0	10.7	3.6	1.5	31.99	23.4
Prueba 3	60.0	25.0	0.0909	1.2	3.0	8.1	2.7	1.2	24.08	23.4
Prueba 4	55.0	25.0	0.0909	1.2	3.0	7.3	2.4	1.0	21.68	23.4
Prueba 5	50.0	25.0	0.0909	1.2	3.0	6.4	2.2	0.9	19.06	23.4

Fuente: Elaboración propia.

10. COSTOS

COSTOS GENERADOS ANTES DE LA INTERVENCIÓN DEL PROYECTO

a) Consumos y costos por equipos en funcionamiento

En el Cuadro N° 93 se muestra los consumos de cada quipo que se encontró en funcionamiento al inicio del proyecto, observando que el mayor consumo de energía lo generaba la bomba antigua que impulsaba el agua al decantador (53%).

Cuadro N° 93: Costo y consumo de energía antes de la intervención.

Equipos	Tiempo (h)	Consumo (KW)	Precio (kW/h)	Tarifa (Euros)	% de gasto
Soplante	21	0.058	0.144	0.175	34%
Bomba del espesador	0.08	0.75	0.144	0.01	2%
Bomba de la placa porosa	1	0.4	0.144	0.06	11%
Bomba antigua al decantador	1.2	1.60	0.144	0.27	53%
			Costo (día)	0.51	
			Costo (mes)	15.3	

Fuente: Elaboración propia.

El costo total por equipos resultó de un costo igual a 15.3 euros al mes.

b) Costo por personal en O&M

En el Cuadro N° 94 se observa el número de personas encargadas en la operación de la EDAR así como el tiempo que se tomaba la persona encargada por día, el tiempo se justifica como consecuencia de tener problemas de operación en las instalaciones.

Cuadro N° 94: Costo de operación y mantenimiento antes de la intervención.

Personal	Cantidad	Tiempo (h)	Salario (h)	Pago (día)
Propio de Fundación	1	2	8	16
			Costo (día)	16
			Costo (mes)	480

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se obtuvo un costo por uso de quipos y O&M igual a 495.3 euros por mes.

COSTOS GENERADOS DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN DE LOS MONITOREOS

a) Consumo y costos por equipos en funcionamiento.

En el Cuadro N° 95 se muestra los consumos de cada equipo al final de los cambios realizados y tiempos de bombeos ajustados, al finalizar el proyecto se consumía mayor cantidad de energía en la soplante igual a un 48% y un consumo de 24% de la bomba que impulsa el agua hacia el decantador.

Cuadro N° 95: Costos y consumo de energía después de la intervención.

Equipos	Tiempo (h)	Consumo (KW)	Precio (kW/h)	Tarifa (Euros)	% de gasto
Soplante	16	0.058	0.144	0.134	48%
Bomba del espesador	0.08	0.75	0.144	0.009	3%
Bomba de la placa porosa	1	0.4	0.144	0.058	21%
Bomba al decantador	1.2	0.4	0.144	0.067	24%
Electroválvula	1.1	0.08	0.144	0.013	5%
			Costo (día)	0.280	
			Costo (mes)	8.4	

Fuente: Elaboración propia.

El costo de consumo de energía por equipos disminuyó a 8.4 euros por mes

b) Costos por personal en O&M

En el Cuadro N° 96 se observa el mismo número de personas encargadas en la operación de la EDAR. Sin embargo, el número de horas de operación y mantenimiento ha disminuido debido a que la EDAR cuenta con menores problemas de funcionamiento.

Cuadro N° 96: Costo de operación y mantenimiento después de la intervención.

Personal	Cantidad	Tiempo (h)	Salario (h)	Pago (día)
Propio de Fundación	1	1	8	8
			Costo (día)	8
			Costo (mes)	240

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se obtuvo un costo por uso de equipos y O&M igual a 248.4 euros por mes.

11. PROPUESTA DE MEJORA

1. Incrementar la concentración de fangos en el reactor biológico para llegar a una oxidación total y conseguir unos fangos más concentrados.
2. En tiempos de recirculación mayores a 3 o 4 minutos, la concentración del fangos bombeado desde el fondo del sedimentador varía. Por lo tanto, se tendrá que buscar un tiempo de recirculación menor donde la concentración del fango recirculado no varíe y así mantener constante la concentración de fangos dentro del reactor biológico.

En el Cuadro N° 97 se muestra los caudales a recircular según el número de veces de funcionamiento del sistema Venturi. Por lo que se recomienda llegar hasta 6 veces al día durante un minuto.

Cuadro N° 97: Caudal a recircular del sistema Venturi.

Aireación (min)	Veces de Venturi (día)	T (min)	Q del Venturi (l/h)	Caudal ingresa al reactor (l/día)
60/30	2	1.00	1061	35
60/30	4	1.00	1061	71
60/30	6	1.00	1061	106

Fuente: Elaboración propia.

De ésta manera la concentración de fangos en el reactor se incrementaría y podría llegar al rango ideal (3000 – 6000 mg/l). Encontrándose actualmente en el rango 1000 – 1500 mg/l.

Adicionalmente el Venturi actualmente solo está recirculando 35 litros durante el día, con la nueva propuesta se estaría recirculando 106 litros de fangos distribuidos en 6 tiempos diferentes, ingresando a una concentración constante.

3. Lo que afecta directamente a la concentración de fangos dentro del reactor y por ende la calidad del fango a recircular dentro del sedimentador, es la gran variación de calidad y cantidad de agua problema que ingresa a la EDAR (ejemplo de cantidad Cuadro N° 12).

Claro ejemplo de la calidad de agua es en el monitoreo N°6, llegando a valores de DQO de 2568 mg/l, DBO igual a 1595 mg/l, sólidos suspendidos 698 mg/l, pH 8.84 y temperatura 16.7 °C.

Los valores mencionados tienen efecto directo sobre los microorganismos y el oxígeno disuelto presente dentro del reactor biológico, dichos efectos podrían ser:

- Mayor necesidad de oxígeno disuelto para degradar la materia orgánica que ingresa, por lo que los niveles de oxígeno disuelto disminuirían dentro del reactor.
- Para una gran cantidad de DBO que ingresa y una concentración de fangos constantes en el reactor la carga másica se incrementaría, funcionando por momentos como un sistema convencional y no como una oxidación total.
- Las variaciones de temperatura, sobre todo las mínimas, disminuyen la velocidad de crecimiento de las bacterias en el reactor.

Los efectos mencionados por la variación de la cantidad y calidad de afluente en la EDAR se pueden solucionar mediante la instalación de un tanque de homogeneización que tiene por beneficios:

- Disminuye las variaciones bruscas de la carga orgánica.
 - Dilución de posibles sustancias inhibitoras a la EDAR.
 - Estabilización del pH.
 - Mejora la calidad del efluente y rendimiento de la sedimentación secundaria posterior.
 - Regula la cantidad de agua que ingresa al reactor, disminuyendo los caudales máximos punta.
 - Regula la composición de agua a tratar.
4. La construcción de una era de secado para depositar la purga de fangos del sedimentador, una vez conseguido la concentración adecuada de sólidos dentro del reactor biológico, y sea necesario la evacuación de la purga.

12. RESUMEN Y CONCLUSIONES

RESUMEN:

- Se realizó una descripción y diagnóstico de la línea de agua y de fangos en todo el sistema de tratamiento.
- Entre las principales acciones que se han realizado y que han tenido un efecto positivo en el funcionamiento del tren de tratamiento son:
 - Ajuste del número de veces y tiempo de recirculación del sistema Venturi mediante un temporizador.
 - Cambio de la bomba que impulsaba el agua desde el depósito de almacenamiento hacia el decantador lamelar.
 - El cambio de difusores.
 - Incremento de número de veces de bombeo de la bomba sobre la placa.
 - Ajuste del tiempo de aireación y parada de la soplante siendo de 60/30 minutos respectivamente.
 - Desvío del efluente del espesador hacia la cámara de rejillas.
- Se ha conseguido mejorar el funcionamiento del tren de tratamiento que presentaban unos valores de DQO a la salida del humedal igual a 229 mg/l y luego de las intervenciones del proyecto el valor del parámetro en mención se encuentra en 58 mg/l.
- El valor de la DBO₅ se tendrá que seguir ajustando para llegar a los límites de vertido, se ha obtenido como promedio un valor igual a 27 mg/l (± 6 mg/l) luego de las intervenciones en el proyecto.
- Los sólidos suspendidos al final del tren de tratamiento se encuentran en un valor promedio de 13 mg/l (± 3 mg/l), estando en todo momento dentro de los límites de vertido impuesto.

- Se consiguió que el amonio disminuya desde un valor 64 mg N/ l (1° monitoreo) hasta un valor de 26 mg N/l (6° monitoreo). No obstante, aún no se cumple con los límites de vertido.
- Los tiempo de retención en cada componente del tren de tratamiento son adecuados, teniendo un total de 5.5 días calculado para el caudal promedio.
- Se hizo funcionar el reactor biológico con un tiempo de retención celular de 17 días.
- Se cuenta con una adecuada constante de biodegradabilidad de la materia orgánica carbonosa, k_{carb} , siendo en la entrada (E1) igual a $0.189 \text{ d}^{-1} (\pm 0.021)$, en la salida del reactor compacto (S2) igual a $0.181 \text{ d}^{-1} (\pm 0.025)$ y por último en la salida de humedal (SH5) igual a $0.172 \text{ d}^{-1} (\pm 0.047)$.
- La sedimentabilidad de los fangos en el reactor en los dos últimos monitoreos resultó ser buena, llegando al rango de 200 – 250 ml en 30 minutos de sedimentación.
- Al inyectar menor cantidad de oxígeno (cambio final a 60 minutos de aireación / 30 minutos de parada) y al recircular mayor cantidad de materia orgánica (bomba sobre la placa y el sistema Venturi), el oxígeno disuelto en el reactor no se encuentra en exceso, por lo que el proceso de nitrificación se producen menor proporción.
- La capacidad del sistema de aireación es suficiente para cubrir las necesidades de oxígeno del reactor.
- La bomba sobre la placa porosa y la bomba que impulsa el agua hasta el decantador lamelar cuentan con una potencia adecuada.
- Se optimizó el sistema anteriormente instalado (Planta compacta), consiguiendo mejores resultados al final de tren de tratamiento que el tratamiento anterior (físico - químico).
- Los parámetros de la carga superficial y carga de sólidos en el sedimentador se encuentran fuera de los rangos recomendados para su buen funcionamiento.
- Se alcanzó un ahorro en costos por consumo de energía equipos de 6.9 euros por mes. Ahorro en tiempo del personal 240 euros por mes y en total un ahorro de 246.9 euro al mes.

CONCLUSIÓN:

- La depuradora se encuentra sub dimensionada, sobre todo para los caudales punta que ingresan al sistema. Presenta poca flexibilidad.
- Falta de componentes para el funcionamiento y operación adecuada de la planta compacta, como por ejemplo; sistema de recirculación, deficiencia en el funcionamiento del sedimentador, depósito y gestión de fangos.
- La planta compacta presenta dificultades al momento de su gestión por personal poco especializado.
- Frente a los problemas observados de operación y mantenimiento del sistema en estudio, se recomienda el uso de otros tipos de tecnologías de tratamiento para pequeñas poblaciones como por ejemplo un tanque séptico seguido de un humedal artificial del tipo horizontal.

13. ANEXOS

14.1 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA EDAR FUNDACIÓN ALFONSO ROIG- BÉTERA.

El presente manual muestra los procedimientos y recomendaciones para que La Fundación (a través del operador), organice los trabajos de Operación y Mantenimiento de la EDAR.

Este Manual deberá ser utilizado por el personal asignado a las actividades de Operación y Mantenimiento de la EDAR, correspondiéndole la atribución de proponer en cualquier momento modificaciones, actualizaciones técnicas o sugerencias, logrando optimizar su contenido.

Asimismo, le corresponde a los niveles jerárquicos competentes de la Fundación encargada, el análisis y la difusión de este Manual.

El presente manual tiene la finalidad de previsión de las tareas de operación y mantenimiento que el personal deberá tener en cuenta sobre los componentes del tren de tratamiento.

Objetivos

El manual pretende servir como herramienta para el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ✓ Homogeneizar los procedimientos de operación y mantenimiento.
- ✓ Describir los procesos del funcionamiento incorrectos, así como la indicación de principales parámetros de diseño, operación y mantenimiento.
- ✓ Señalar los problemas principales de operación y mantenimiento, sus efectos a corto plazo y su solución.
- ✓ Efectuar una descripción de los procedimientos de mantenimiento de los cambios realizados en los componentes y mantenimiento preventivo de equipos de bombeo.

1) OPERACIÓN DE LA EDAR

Debido al modo funcionamiento del reactor biológico y humedal artificial, degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos a través de un suministro de oxígeno (natural o artificial), se debe de tener cuidado con la calidad de agua residual que ingresa al tren de tratamiento, realizando la operación adecuada en el cada componente de tratamiento:

- ✓ Realizar la medición de caudales de ingreso a la EDAR o consumos diarios de agua consumida.
- ✓ Realizar una inspección visual a las instalaciones de la EDAR, tres veces al día, el horario recomendado será a las 9:00, 12:30 y 16:30 horas.
- ✓ Realizar la limpieza de todas las instalaciones del tren de tratamiento
- ✓ Realizar la disposición y manejo adecuado de los residuos producidos en la planta de tratamiento.
- ✓ Registrar aspectos no frecuentes que ocurren en la línea de tratamiento por ejemplo, forma de aireación en el rector (puntual o en forma de burbujas finas), malos olores, cambios de turbiedad, cambios de concentración de fangos, acumulación de fangos en los sistemas. (fecha y hora).

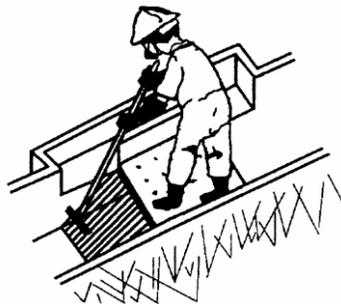
A) Sistema de rejas

- ✓ La frecuencia de su limpieza debe realizarse tantas veces al día como sea necesario, por ejemplo en época de invierno esta actividad se incrementa.

Debido a que actualmente ya no se produce atascamiento de las rejas, se recomienda realizar la limpieza de las rejas los días viernes, último día de trabajo de la semana, para no tener problema el fin de semana donde no hay personal de operación y mantenimiento, adicionalmente que se tiene la menor cantidad de personas en la vivienda.

Asimismo se verá las buzoneas antes del ingreso a la cámara de rejas y se dejará libre el paso del agua, retirando materiales que puedan ocasionar obturación en la tubería y un posterior rebose del agua.

Esto no indica que entre semana no se realice la limpieza, en caso la inspección que se dará tres veces al día (9:00, 12:00 y 16:30), lo amerite, realizar la limpieza.



- ✓ Asegurarse de cerrado hermético de la tapa de la cámara de rejas, para no permitir el ingreso de insectos o roedores (vectores), por los residuos orgánicos presente.
- ✓ No arrojar ningún tipo de material extraño al inodoro o lavamanos, como tapas de refrescos, plásticos, papel de manos, etc.



Principalmente por tres razones:

Primero: Para no permitir la obturación del sistema de rejillas y un posterior rebose de la cámara de rejillas.

Segundo: Son materiales difíciles o imposible de degradación por parte de los microorganismos.

Tercero: Si logran pasar por el sistema de rejillas, pueden ocasionar un atasco en el sistema de bombeo (motores, bombas, línea de bombeo), los difusores, incluyendo el sistema Venturi.

B) Reactor biológico

- ✓ No utilizar productos de limpieza abrasivos y/o en exceso. Esto es para no inhibir a la población de microorganismos existente en el reactor (bacterias) que son los responsables del tratamiento microbiológico.
- ✓ No permitir el ingreso del agua de limpieza de las herramientas del taller que se realiza con acetato de polivinilo (material no biodegradable).

Sedimentabilidad de fangos:

Para una oxidación total, es necesario tener un IVF menor a 150 ml/g; por lo que en el cuadro siguiente se muestra la cantidad de fango sedimentados en 30 minutos (en una probeta de 1000ml) que se debe de tener para conseguir una buena sedimentabilidad. No obstante, es importante saber antes la concentración de sólidos presentes en el reactor al que se está trabajando.

Sólidos suspendidos totales X_{sst} (g/l)	Volumen (ml)(*)	IVF (ml/g)
1.8	270	150
2	300	150
2.5	375	150
3	450	150
3.5	525	150
4	600	150

Para valores menores de los volúmenes mostrados, según la concentración de fangos, se cumple con una buena sedimentabilidad de fangos.

Para valores mayores de volúmenes, según la concentración de fangos, se cumple con una mala sedimentabilidad de fangos y se podría dar por:

- IVF alto y sobrenadante turbio, posibilidad de Flóculos punta de alfiler. (Mala sedimentación).
- IVF alto y sobrenadante claro, posibilidad de Bulking (Mala sedimentación y compactación).

Se recomienda realizar el proceso de sedimentabilidad de fangos 3 veces a la semana, lunes, miércoles y viernes.

PROBLEMAS OPERACIONALES:

Uno de los principales problemas viene a ser la generación de malos olores, debido a factores (internos y externos) que disminuyen el rendimiento de degradación de los microorganismos presente en el tratamiento:

- ✓ Ingreso de una sobrecarga orgánica.
- ✓ Caudales grandes de ingreso, con lo que se consigue un reducción del tiempo de retención. Y no se le da tiempo a los microorganismos a realizar la degradación de la materia orgánica.
- ✓ Presencia de sustancias tóxicas e inhibidoras en el efluente.
- ✓ Valores muy bajos o muy altos del potencial hidrógeno (pH).
- ✓ Cambios bruscos de temperatura.

C) Sedimentador

- ✓ Tener presente que se debe de realizar la purga de fangos luego de cierto tiempo (según programa de operación).

- ✓ Si se desea realizar la toma de muestra de la recirculación de fangos de forma manual (para caracterización), usar obligatoriamente guantes.
- ✓ Toda la superficie de agua del Sedimentador debe estar libre de la presencia de sólidos flotantes, espumas y materiales asociados a las aguas residuales, así como de material adherido a las paredes o zonas con el cual los sólidos están en contacto.

D) Sistema de recirculación (Venturi)

- ✓ En caso de tener problemas con los sistemas de bombeo utilizar guantes para el desmonte de la bomba y/o manipulación de ella.
- ✓ Verificar el funcionamiento de la electroválvula que rige el sistema de tiempos de apertura y cierre del sistema Venturi. Proceso muy importante debido a que de esto depende directamente el tiempo en que estarán los microorganismos y degradarán la materia orgánica (tiempo de retención celular).

Aireación (min)	Hora	Veces de Venturi (día)	T (min)	Q del Venturi (l/h)	Caudal ingresa al reactor (l/día)
60/30	9:00 - 21:00	2	1	1061	35
60/30	9:00 - 21:00	4	1	1061	71
60/30	9:00 - 21:00	6	1	1061	106

Se recomienda realizar un mayor número de veces durante el día (6 veces) para mantener una concentración los fangos del rector más estables y disminuir los caudales del bombeo de la bomba sobre la placa.

E) Sistema de bombeo sobre placa porosa

- ✓ Verificar el funcionamiento de la electroválvula que rige el sistema de tiempos de apertura y cierre del sistema de bombeo.

F) Decantador

- ✓ Controlar el caudal de ingreso mediante el temporizador de la bomba, con la finalidad de no sobrepasar con el caudal de diseño, 1m³/hora.
- ✓ Retirar los flotantes del decantador lamelar (en caso de existir), disponerlos en un contenedor adecuado.

Se recomienda realizar una limpieza del decantador, en entradas del agua, vertedero de salida una vez cada mes.

G) Humedal artificial

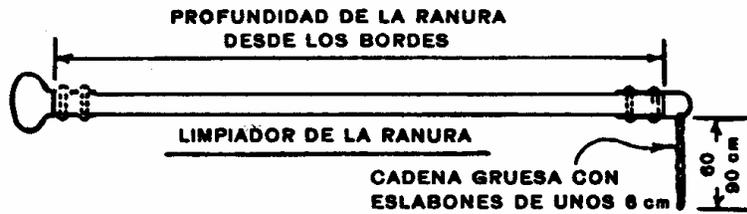
- ✓ Realizar el corte adecuado de la vegetación plantada en el humedal, siendo el caso de las enneas en un aproximado cada tres meses, tiempo suficiente de crecimiento de las enneas o cuando el operador vea conveniente que la altura de la planta sea el adecuado y empiece a volcarse hacia el suelo.
- ✓ Verificar que no existan zonas sin plantación de enneas, debido a que se puede generar una corriente discontinua del flujo (zonas muertas).
- ✓ Verificar las entradas del afluyente del humedal, debido a obturación que podría sufrir ya sea por parte de la grava, vegetación, insectos, etc.

2) MANTENIMIENTO

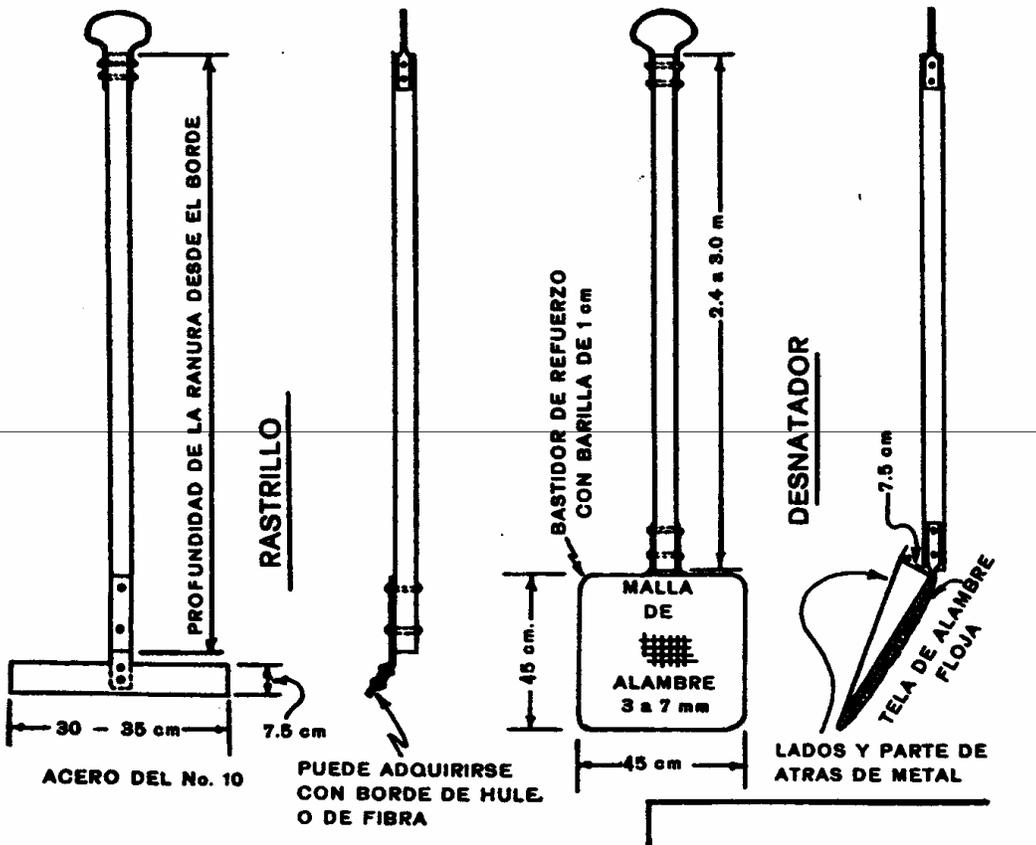
- ✓ Reparación de fugas en la línea de agua.
- ✓ Pintar plataformas metálicas expuestas a la vista (tapa de cámara de rejás).
- ✓ Reparar o sustituir el sistema Venturi responsable de la recirculación de fangos.
- ✓ Reparar o sustituir el sistema eléctrico (sistema de bombeo, electroválvulas, soplante, difusores).

- ✓ En caso de darse el ingreso de materiales que pudieran provocar una obstrucción de las tuberías como plásticos, prendas de vestir etc. Retirarlos inmediatamente con ayuda de alguna varilla de adecuado tamaño.

3) EQUIPO MINIMO Y NECESARIO PARA LA OPERACIÓN



MANGOS DE MADERA A ESCUADRA DE 3.8 X 3.8 cm, O DE TUBO DE ACERO DE 1.3 cm DE DIAM. CON ASAS DE HIERRO O DE OTRO MATERIAL



Fuente: Departamento de sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas residuales.

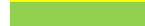
4) SEGURIDAD DEL OPERADOR

Las principales medidas de precaución por parte del operador se describen a continuación:

- ✓ Lavado de manos, antes de ingerir cualquier tipo de alimento.
- ✓ Las prendas de trabajo deberán permanecer en el lugar de trabajo cuando el operador se retire.
- ✓ Las herramientas utilizadas y en contacto con el agua problema y/o fango, deberán ser lavadas con agua limpia antes de ser guardadas.
- ✓ Al realizarse un corte o rasguño en el proceso de operación y/o mantenimiento, deberán limpiarse y desinfectarse inmediatamente.
- ✓ El operador deberá contar con un equipado y adecuado botiquín, siendo viable y de fácil acceso.
- ✓ Tener cuidado al momento de manipulación de sistemas eléctricos (sistemas de bombeo) asegurándose que sus manos, prendas de vestir, se encuentren previamente secas.

CRONOGRAMA DE CONTROL DE LA EDAR – BÉTERA – FUNDACIÓN ROIG								
Fecha:			Operador:					
HORA		CONTROL DE SISTEMA DE BOMBEO Y O&M						
		(Indicar la hora en que sucede algún evento atípico)						
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00	01:00							
01:00	02:00							
02:00	03:00							
03:00	04:00							
04:00	05:00							
05:00	06:00							
06:00	07:00							
07:00	08:00							
08:00	09:00							
09:00	10:00	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección		
10:00	11:00							
11:00	12:00							
12:00	13:00	Inspección / sedimentabilidad	Inspección	Inspección / sedimentabilidad	Inspección	Inspección / sedimentabilidad		
13:00	14:00							
14:00	15:00							
15:00	16:00							
16:00	17:00	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección	Inspección, limpieza fin de semana		
17:00	18:00							
18:00	19:00							
19:00	20:00							
20:00	21:00							
21:00	22:00							
22:00	23:00							
23:00	00:00							
OBSERVACIONES:								

 Horario de recirculación de fangos, sistema Venturi (6 veces al día durante 1 minuto)

 Horario de recirculación de fangos, bomba sobre la placa (12 veces al día durante 2 minutos)

14.2 CÁLCULO VOLUMEN DEL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN

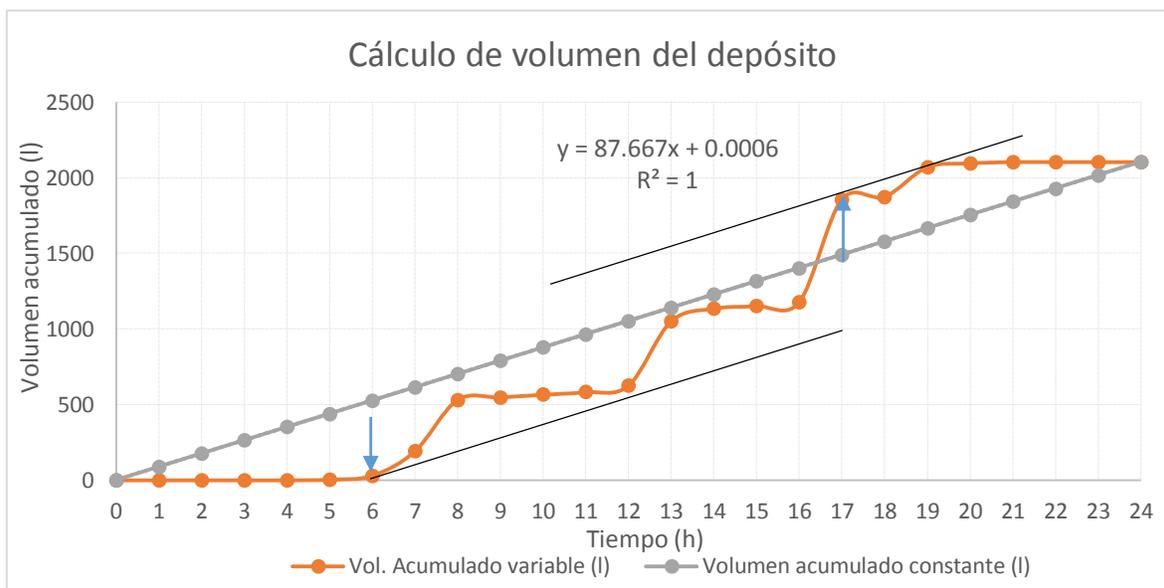
En el siguiente cuadro se muestra los valores de los volúmenes acumulados a lo largo del día y los volúmenes acumulados constantes.

Cálculo de volumen del tanque de homogenización.				
Tiempo (h)	Volumen agua residual (l)	Vol. Acumulado variable (l)	Volumen acumulado constante (l)	Variación (m3)
0	0	0	0	0
1	0	0	88	88
2	0	0	175	175
3	0	0	263	263
4	0	0	351	351
5	4.25	4	438	434
6	25.5	30	526	496
7	161.5	191	614	422
8	340	531	701	170
9	17	548	789	241
10	17	565	877	311
11	17	582	964	382
12	42.5	625	1052	427
13	425	1050	1140	90
14	85	1135	1227	93
15	17	1152	1315	163
16	25.5	1177	1403	225
17	680	1857	1490	-367
18	17	1874	1578	-296
19	195.5	2070	1666	-404
20	25.5	2095	1753	-342
21	8.5	2104	1841	-263
22	0	2104	1929	-175
23	0	2104	2016	-87
24	0	2104	2104	0

Los valores del volumen de agua residual generado se han tomado según el consumo de 24 personas a lo largo del día y de manera horaria. Se está asumiendo el mayor volumen de agua residual a las 17 horas de la tarde, momento donde se realiza la limpieza de las herramientas del taller y el aseo de los trabajadores que terminan su jornada de labores a en dicha hora.

El valor del volumen de tanque de homogenización será la suma de las mayores variaciones que se da entre la recta y la curva mostradas en el siguiente Figura.

Para la EDAR, la mayor diferencia se da entre las 6 horas de la mañana y las 17 horas de la tarde, siendo la suma en ambos horarios igual a 863 litros.



Por lo tanto, para obtener un caudal mejor regulado y evitar las grandes variaciones de los caudales máximos punta con respecto al caudal promedio es necesario construir aproximadamente un tanque de homogenización de 870 litros. Aproximadamente un tanque de 1m² de área por 1m de alto (incluido el borde libre).

La construcción del tanque regulará el caudal de ingreso a la EDAR y adicionalmente se obtendrá una calidad del efluente más homogéneo.

14.3 FICHAS DE MONITOREOS REALIZADOS

Ficha de monitoreo número: 1

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sedimen (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	OD (mg/l)	3.36	0.13		6.83	4.73	0.35	2.18
2	Temperatura (°C)	23.6	24.9		25.2	23.6	23	25.6
3	% saturación	40.6			83.6	56.1	4	26.4
4	Conductividad (µS/cm)	872	1215		1268	1315	1548	1321
5	Salinidad (g/l)	0.2	0.4		0.4	0.5	0.6	0.5
6	pH	8.29	7.38		7.61	7.21	6.92	6.92
7	Temperatura (°C)				26	23.7	23	
8	DQO (25 - 1500)	407			419	401	297	229
	Volumen (ml)	3			3	3	3	3
	Hora de digestión	03:15						
9	SÓLIDOS							
	Peso Cápsula (mg)	30.6812	27.7033	28.9967	29.3369	32.2	29.6684	29.6913
	Peso Filtro (mg)	0.1287	0.1292	0.1283	0.1282	0.1285	0.1267	0.126
	Volumen filtrado (ml)	100	26	50	100	50	200	100
	Peso a 104°C	30.8194	28.1345	29.2137	29.4833	32.34	29.8041	29.8188
	Peso a 550°C	30.8085	27.8872	29.1398	29.4657	32.3281	29.7937	29.8153
10	DBO5	182.7			95.7	78.7	53.5	40.8
	Volumen de muestra (Rango)	164			164	164	250	250
	Fecha de incubación							

Ficha de monitoreo número: 2

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sedimen (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	Oxígeno Disuelto (mg/l)	4.1	3.8		2.37	5.1	0.93	1.25
2	% saturación	45.46	21.3		26.9	54.1	9.4	13.3
3	Temperatura (°C)	21	ND		21	20.4	17.8	17.9
4	Conductividad (µS/cm)	551	796		852	932	1522	1148
5	Salinidad (g/l)	0	ND		0.2	0.2	0.6	0.4
6	pH	8.02	7.73		7.15	7.36	6.96	6.99
7	Temperatura (°C)	20			21	19.9	17.7	
8	DQO	417			166	152	247	98
	Volumen (ml)	3	3	3	3	3	3	3
	Hora de digestión							
9	SÓLIDOS							
	Peso Cápsula	30.6909	27.221	26.1995	29.6909	27.849	26.4116	26.3994
	Peso Filtro	0.1305	0.1298	0.129	0.1291	0.1292	0.1295	0.1302
	Volumen filtrado	101	61	20	100.5	100	100	200
	Peso a 104°C	30.8268	27.3652	26.4908	29.8292	27.9842	26.5448	26.5323
	Peso a 550°C	30.8207	27.3518	26.3516	29.8199	27.9778	26.5398	26.5286
10	DBO5	254			73.2	107	70.3	61.9
	Volumen de muestra (Rango)							
	Fecha de incubación							

Ficha de monitoreo número: 3

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sedimen (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	OD (mg/l)	4.44	0.16		1.07	2.57	4.62	3.45
2	% saturación	47.6	1.6		10.6	26.8	44.2	32
3	Temperatura (°C)	18.7	17.2		17.1	16.1	13.7	13.1
4	Conductividad (µS/cm)	620	1200		1200	1212	1365	1207
5	Salinidad (g/l)	0	0.4		0.4	0.4	0.5	0.4
6	pH	7.71	7.66		7	7.18	7.25	7
7	Temperatura (°C)	18.6	17.1		17	15.7	13.6	12.8
8	DQO	581			722	474	133	125
	Volumen (ml)	3	3	3	3	3	3	3
	Hora de digestión	17:50						
9	SÓLIDOS							
	Volumen filtrado (ml)	100	100	100	50	50	100	200
	Peso Cápsula (mg)	26.4901	87.8798	106.5033	26.8378	26.3207	29.3353	29.6908
	Peso Filtro (mg)	0.1274			0.1264	0.1283	0.1283	0.126
	Peso a 104°C	26.6285	88.0107	110.6073	26.9851	26.4616	29.4693	29.8193
	Peso a 550°C	26.6171	87.9259	107.0225	26.9667	26.4507	29.4649	29.8174
10	DBO							
	Volumen de muestra (Rango)	97			164	164	164	164
	Fecha de incubación							
11	AMONIACO	42.2			76.4	74	54.8	64
12	CAUDALES							
	Volumen medido (ml)				2400			
	Tiempo transcurrido (s)				20			

Ficha de monitoreo número: 4

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sedimen (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	Oxígeno. Disuelto (mg/l)	5.84	0.19		0.18	3.8	0.73	1.95
2	% saturación	61.7	1.5		1.7	37.4	7.1	18.2
3	Temperatura (°C)	17	17.4		17	14.3	12.9	11.8
4	Conductividad (µS/cm)	1135	1034		1056	1084	1358	1106
5	Salinidad (g/l)	0.3	0.3		0.3	0.3	0.5	0.3
6	pH	8.65	7.56		7.04	7.2	6.92	7.01
7	Temperatura (°C)	17	17.2		17	14.3	12.8	11.6
8	DQO	587			525	331	127	89
	Volumen (ml)	3	3	3	3	3	3	3
	Hora de digestión	13:50						
9	SÓLIDOS							
	Volumen filtrado (ml)	50	100	100	51	51	154	200
	Peso Cápsula (mg)	29.3347	75.0714	68.3496	28.9965	26.321	26.4904	26.8382
	Peso Filtro (mg)	0.1263			0.1264	0.1263	0.1283	0.1246
	Peso a 104°C	29.4681	75.212	71.2329	29.1364	26.4547	26.6245	26.9654
	Peso a 550°C	29.4606	75.1072	68.6502	29.1223	26.446	26.6172	26.9615
10	DBO							
	Volumen de muestra (Rango)							
11	FOSFORO TOTAL (mg P/L)							
12	NITROGENO TOTAL (mg N /L)							
		1.78	X20		2.83	2.37	2.14	2.03
13	AMONIACO	35.6			56.6	47.4	42.8	40.6
14	CAUDALES							
15	TURBIEDAD	113			243	110	67.6	62.6

Ficha de monitoreo número: 5

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sedimen (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	Oxígeno (mg/l)	4.88	0.33		3.05	3.4	1.15	0.87
2	% saturación	54	6		32.5	35	11.4	9.2
3	Temperatura (°C)	20.2	19.3		19.1	18.3	16.3	18.6
4	Conductividad (µS/cm)	520	870		888	920	1268	1000
5	Salinidad (g/l)	0	0.2		0.2	0.2	0.4	0.3
6	pH	8.46	7.53		7.53	7.5	7.2	7.1
7	Temperatura (°C)	20.5	19		19	18.6	16.2	18.5
8	DQO	372			207	201	132	125
	Volumen (ml)	3	3	3	3	3	3	3
	Hora de digestión	16:00						
9	SÓLIDOS							
	Volumen filtrado (ml)	90	102	102	81	61	83	101
	Peso Cápsula (mg)	31.9383	80.0242	68.3496	31.6212	30.1391	30.6093	17.6767
	Peso Filtro (mg)	0.129			0.1292	0.1289	0.1305	0.13
	Peso a 104°C	32.0707	80.1798	69.4542	31.7551	30.2719	30.7422	17.8081
	Peso a 550°C	32.0657	80.0682	68.5243	31.7491	30.2668	30.7386	17.8056
10	DBO sembrado 17.02.16							
	Volumen de muestra (Rango)	97			164	164	164	164
	Fecha de incubación							
11	FOSFORO TOTAL (mg P/L)							
12	NITROGENO TOTAL (mg N /L)							
		0.84	X 20 dilución		1.97	1.91	1.81	1.57
13	AMONIACO	16.8			39.4	38.2	36.2	31.4
14	CAUDALES							
15	TURBIEDAD	36.9			40.6	46.9	16.17	55.9

Ficha de monitoreo número: 21.03.16 número 6

Ítems	Parámetros \ Puntos	Entrada (E1)	Reactor (R6)	Sedimentador (7)	Salida Sed. (S2)	Sal. Decantador (D3)	Sal. Espesador (E4)	Sal. Humedal (H5)
1	Oxígeno Disuelto (mg/l)	3.34	1.2	0.18	0.2	4.5	5.58	1.06
2	% saturación	34.2		0.15		42.9	54	10.3
3	Temperatura (°C)	16.8				15.8	13.7	14.1
4	Conductividad (µS/cm)	1204	794		790	818	1130	1039
5	Salinidad (g/l)	0.4	0.1		0.1	0.2	0.3	0.3
6	pH	16.7	7		6.87	6.95	7.3	6.78
7	Temperatura (°C)		16.6		17	15.6	13.6	14.1
8	DQO	2568			331	153	186	58
	Volumen (ml)	3	3	3	3	3	3	3
	Hora de digestión	15:30						
9	SÓLIDOS							
	Volumen filtrado (ml)	40	100	100	71	62	92	151
	Peso Cápsula (mg)	28.2247	91.8398	94.582	30.1398	25.7186	28.3916	26.1999
	Peso Filtro (mg)	0.1276			0.1288	0.1285	0.1315	0.1277
	Peso a 104°C	28.372	91.9352	95.2924	30.2821	25.8511	28.5316	26.3287
	Peso a 550°C	28.3545	91.8803	94.7012	30.2694	25.8468	28.5233	26.327
10	DBO sembrado 17.02.16							
	Volumen de muestra (Rango)							
	Fecha de incubación							
11	FOSFORO TOTAL (mg P/L)							
12	NITROGENO TOTAL (mg N /L)							
	AMONIACO	1.85	(Dilución x 20)		3	0.69	1.84	1.29
13	AMONIACO total	74			60	13.8	36.8	25.8
14	CAUDALES							
15	TURBIEDAD							

14. BIBLIOGRAFÍA

- Metcalt y Eddy, (2000). Ingeniería de las aguas residuales.
- Ferrer Polo, José. Seco torrecillas, Aurora (2003). Tratamiento de aguas, tomo 1, introducción a los tratamientos de aguas. Valencia: UPV.
- Ferrer Polo, José, Seco torrecillas, Aurora (2004). Tratamiento de aguas, tomo 2, tratamientos físico - químicos. Valencia: UPV.
- Ferrer Polo, José. Seco torrecillas, Aurora (2007). Tratamiento de aguas, tratamientos biológicos de aguas residuales. Valencia: UPV.
- Benet Granel, José Manuel. Ferrer Polo, José (1992). Aplicación de depuración de aguas.
- Ramalho R.S (1983). Tratamiento de aguas residuales.
- Sainz, J.A. (2005). Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48657/componente48655.pdf

- ALIANZA POR EL AGUA (2008), Manual de depuración de aguas residuales urbanas.
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Centro de las nuevas tecnologías del agua (CENTA) (2006), Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población; mejora de calidad de los efluentes. Edición ITC, primera edición abril 2006.
- García Serrano, Joan. Corzo Hernández, Angélica. Guía práctica de Diseño. Construcción y explotación de sistemas de Humedales de flujo sub superficial.
- EPA (2000), Humedales de flujo sub superficial.
- UN-HABITAT, (2008), Constructed Wetlands (Manual).
- MMAMRM (2010), Guía para la aplicación del RD 1620-2007.

FUNDACIÓN ROIG ALFONSO



José Pablo Gadea y Miguel Calero, personal y amigos de la Fundación que aportaron toda su experiencia y ayuda desinteresada en el desarrollo del presente trabajo.