

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**LOS EFECTOS DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS
EN EL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES OMO DE
MOQUEGUA - 2017**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. MARCOS LUIS QUISPE PÉREZ

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**LOS EFECTOS DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS EN EL DISEÑO
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OMO
DE MOQUEGUA – 2017**

Tesis sustentada y aprobada el 21 de Noviembre del 2017; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 

Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

SECRETARIO : 

Dr. Julio Miguel Fernández Prado

MIEMBRO : 

Dr. Walter Dimas Florez Ponce de León

ASESOR : 

Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Clorinda por enseñarme a ser la persona que soy y a quien le admiro su fortaleza física y espiritual, por su ejemplo de perseverancia y amor a la naturaleza.

A mi padre Marcelo, que ya partió a la presencia del Altísimo hace siete años, dedicarle esta tesis doctoral, quien permanentemente me apoyó material y moralmente, y ahora una de sus enseñanzas que heredé de persistencia, a pesar de las adversidades y lograr mis metas y objetivos propuestos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, gracias a Dios Supremo; a las enseñanzas sagradas transmitidas por el venerable Maestro Kotama Okada, quien motiva mi predilección por el cuidado del medio ambiente, y poder contribuir a lograr una vida saludable para las futuras generaciones.

En segundo lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al asesor de la tesis, Dr. Alberto Savino Pacheco Pacheco, quien, mediante su incondicional labor de dirección y su constante apoyo y ánimo mostrado a lo largo de las distintas fases de elaboración de la misma. Así como por haberme permitido compartir conocimiento en la investigación de este apasionante tema del Tratamiento de aguas residuales.

Agradezco a los excelentes Docentes del Programa de Doctorado. A mis colegas, compañeros de promoción doctoral.

El Autor

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
RESUMO	xv
INTRODUCCIÓN	01
 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	02
1.1.1. Antecedentes del problema	02
1.1.2. Problemática de la investigación.....	03
1.2. Formulación del problema.....	04
1.3. Justificación e importancia	05
1.4. Alcances y limitaciones	06
1.5. Objetivos	07
1.5.1. Objetivo General	07
1.5.2. Objetivo Específicos	07
1.6. Hipótesis	07

1.6.1. Hipótesis general	07
1.6.2. Hipótesis específicas	08

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	09
2.1.1. En el ámbito internacional.....	11
2.1.2. En el ámbito tecnológico	12
2.1.3. Proceso de lodos activados (fangos activados)	12
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1 Caracterización típica de las aguas residuales urbanas	13
2.2.2. Evaluación de las cargas orgánicas de aguas residuales urbanas	22
2.2.3. Tecnología de Tratamiento de Aguas Residuales	27
2.3. Fundamentos para la formulación y comprensión del control fuzzy de PTAR por lodos activados	32
2.4. Definición de términos	45

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de la investigación.....	54
3.1.1. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto	55
3.2. Población y muestra	57

3.3. Operacionalización de variables	57
3.3.1. Variables	57
3.3.2. Definición operacional de las variables	61
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos	62
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	62

CAPÍTULO IV

4. Marco filosófico	65
---------------------------	----

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Descripción de las lagunas facultativas de la PTAR OMO - Moquegua	70
5.2 Caracterización del agua residual urbana tratada en la PTAR – OMO – Moquegua	74
5.3 Diseño de PTAR por lodos activados - OMO – Moquegua	81
5.4 Diseño de control Fuzzy para la planta de lodos activados	86
5.4.1 Definición de Variables Controlables y Manipulables	86
5.4.2 Definición de Variables Controlables y Manipulables	91
5.4.3 Reglas control fuzzy para operar la PTAR por lodos activados	93

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

6.1 Eficiencia de remoción de las lagunas facultativas de OMO.....	95
6.2 Impacto en el ECA del río Moquegua por la descarga del efluente de la PTAR OMO.....	99
6.3 Modificación de la PTAR OMO, adicionando una PTAR por lodos activados	100
6.4 Implementación de control fuzzy en la PTAR por lodos activados OMO	106
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos de control convencional en una PTAR por el método de lodos activados	43
Tabla 2. Metodología de Muestreo, transporte y ensayo de aguas Residuales	62
Tabla 3. Ubicación de los componentes de la PTAR OMO.....	71
Tabla 4. Dimensiones de las Lagunas facultativas de la PTAR OMO	72
Tabla 5. Ensayos de los principales parámetros de aguas residuales en la PTAR OMO – Moquegua	74
Tabla 6. Informe de ensayo N° 106299-2016	76
Tabla 7. Contaminación generada en el Río Moquegua por la descarga de la PTAR OMO – Moquegua.....	77
Tabla 8. Población y producción de aguas residuales urbanas proyectada de la ciudad de Moquegua al año 2035.....	78
Tabla 9. Proyección de aguas residuales urbanas: caudal promedio, mínimo y máximo en lps generados en la ciudad de Moquegua al año 2035	80
Tabla 10. Matriz de Memoria asociativa fuzzy (MAF) del estado del estado de las válvulas reguladoras de aire y reciclaje de lodo	

respecto al contenido de OD y temperatura del agua en proceso de tratamiento en el reactor.....	91
Tabla 11. Cuadro representativo de los datos de control de OD y Temperatura; y las acciones que se ejecutar con la dosificación de aire y recirculación de lodos	92
Tabla 12. Eficiencia Operativa de las lagunas facultativas de OMO – Moquegua	96
Tabla 13. Proyección de la producción de lodos, Volumen útil y del periodo de retención (PR) de las lagunas facultativas de OMO – Moquegua.....	97
Tabla 14. Comparación de la calidad del río Moquegua Contaminada por el efluente de la PTAR OMO con el ECA según el DS 015-2015-MINAM.....	99
Tabla 15. Balance del contaminante DBO5 en el río Moquegua Por la descarga del efluente de la PTAR OMO	102
Tabla 16. Balance del contaminante DBO5 estimado en el río Moquegua por la descarga del efluente de la PTAR OMO modificada.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso clásico de tratamiento de aguas residuales por lodos activados.	31
Figura 2. Conjunto fuzzy estable.....	36
Figura 3. Representación esquemática de una PTAR por lodos Activados.....	42
Figura 4. Representación esquemática de una PTAR por lodos Activados.....	55
Figura 5. Fotos de los Sistemas de evacuación de aguas residuales urbanas diseñado por los antiguos griegos en la Isla Creta.....	69
Figura 6. Distribución de las lagunas facultativas de la PTAR OMO.....	73
Figura 7. Fotografía Satelital de la PTAR OMO	73
Figura 8. Fotografía Satelital de los puntos de monitoreo del Río Moquegua	75
Figura 9. Proyección de la población y caudal de ARU producidas en Moquegua	79
Figura 10. Flujograma en una PTAR por lodos activados.....	82
Figura 11. Diseño del sedimentador en una PTAR por lodos activados .	85
Figura 12. Diseño del sistema de control Fuzzy para la PTAR OMO.....	86

Figura 13. Representación Fuzzy del contenido de OD del agua en el reactor.....	87
Figura 14. Representación Fuzzy de la temperatura del agua en el reactor.....	88
Figura 15. Representación Fuzzy de la abertura de la válvula de control de aire	89
Figura 16. Representación Fuzzy de la abertura de la válvula de control del recirculación de lodos en el proceso	90
Figura 17. Puntos de monitoreo del Río Moquegua.....	103
Figura 18. Propuesta de modificación de la PTAR OMO	104
Figura 19. Simulador del Sensor de Oxígeno Disuelto con el Programa de Control Fuzzy para la planta de lodos activados – PTAR OMO.....	106
Figura 20. Simulador del Sensor de Temperatura con el Programa de Control Fuzzy para la planta de lodos activados PTAR OMO	107
Figura 21. Simulador del regulador de la válvula de aire para la planta de lodos activados - PTAR OMO	108
Figura 22. Simulador del regulador de la válvula de retorno de Lodos para la planta de lodos activados - PTAR OMO	109

RESUMEN

La problemática ambiental en la actualidad respecto al tratamiento de las aguas residuales es compleja, y siendo urgente el cuidado del medio ambiente, aplicando tecnologías económicas, para minimizar los impactos negativos, y en la actualidad en su mayoría las plantas de tratamiento de aguas residuales no cumplen con los estándares de calidad ambiental en sus efluentes, es por tal razón que el presente trabajo de tesis doctoral, presenta una alternativa de solución inmediata y factible, utilizando los análisis de los parámetros operativos de la Planta de tratamiento de aguas residuales de OMO – Moquegua, para diseñar una Planta de tratamiento en volumen, y operatividad con inteligencia artificial en base a sensores y el uso de software Matlab que incluye la herramienta de la lógica difusa para la automatización de las válvulas de compuerta de aireación y regulación del reciclaje del lodo. El presente trabajo de investigación, es multidisciplinario, están inmersas la ciencia de la matemática, química, física, biología, ingeniería mecatrónica.

Palabras clave: agua residual, parámetros operativos, lógica difusa,

ABSTRACT

The current environmental problem regarding the treatment of wastewater is complex, and environmental care is urgent, applying economic technologies to minimize negative impacts, and currently most of the wastewater treatment plants do not comply with the environmental quality standards in their effluents, it is for this reason that the present doctoral thesis work, presents an alternative of immediate and feasible solution, using the analysis of the operational parameters of the OMO Wastewater Treatment Plant - Moquegua, to design a treatment plant in volume, and operation with artificial intelligence based on sensors and the use of Matlab software that includes the tool of fuzzy logic for the automation of aeration gate valves and regulation of sludge recycling. The present research work is multidisciplinary, immersed in the science of mathematics, chemistry, physics, biology, mechatronics engineering.

Keywords: residual water, operational parameters, fuzzy logic,

RESUMO

O problema ambiental atual no tratamento de águas residuais é complexo e o cuidado ambiental é urgente, aplicando tecnologias econômicas para minimizar os impactos negativos, e atualmente a maioria das estações de tratamento de águas residuais não Cumpriu os padrões de qualidade ambiental em seus efluentes, é por esta razão que a presente tese de doutorado funciona, apresenta uma alternativa de solução imediata e viável, utilizando a análise dos parâmetros operacionais da Estação de Tratamento de Águas Residuais OMO - Moquegua, para projetar uma planta de tratamento em volume e operação com inteligência artificial baseada em sensores e o uso do software Matlab que inclui a ferramenta de lógica fuzzy para automação de válvulas de portão de aeração e regulação de reciclagem de lodo. Esta pesquisa é multidisciplinar, eles estão imersos ciência da matemática, química, física, biologia, mecatrônica.

Palavras-chave: água residual, parâmetros operacionais, lógica difusa

INTRODUCCIÓN

El problema que se tiene en la ciudad de Moquegua, por la descarga de los efluentes de la PTAR OMO al río de Moquegua, que actualmente no cumple con las exigencias normativas del país, motivó a realizar esta investigación de tesis que se estructura en capítulos y trata los siguientes temas:

- ❖ En el primer capítulo se analizó el problema;
- ❖ En el segundo capítulo se recopiló los avances para elaborar el marco teórico y avances tecnológicos;
- ❖ En el tercer capítulo se analizó el marco metodológico para desarrollar el proyecto;
- ❖ En el cuarto capítulo se analizó el marco filosófico que se ajusta en el manejo operativo de plantas de tratamiento de aguas residuales;
- ❖ En el quinto capítulo se analizó la eficiencia operativa de las lagunas facultativas de OMO actuales, para determinar las dimensiones de los equipos principales de lodos activados que se debe instalar y determinar la arquitectura de control fuzzy que se debe implementar;
- ❖ En el sexto capítulo se realiza la discusión de los resultados con lo que se valida este proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

En nuestro país, históricamente, los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos de las poblaciones, tal es el caso del Río Rimac en Lima, que son contaminados con los desechos de los distritos de San Mateo, Matucana. Gracias al incremento de volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas en las épocas de lluvias, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las aguas residuales que son vertidos. Sin embargo, frecuentemente las descargas directas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto (OD) en el agua, la desaparición de insectos y peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias (Moscoso y Egocheaga, 2004).

Frente a la situación de poca disponibilidad de agua para la agricultura y una creciente demanda competitiva entre el consumo

humano y el riego agrícola, En Moquegua, a través de EPS Moquegua S.A., se inicia los estudios de evaluación del tratamiento de las aguas residuales que realizan en PTAR OMO que es de su propiedad, y que produce 4 225 000 m³/año de aguas residuales tratadas y descargan directamente al río Moquegua (135,8 l/s).

Con este fin EPS Moquegua S.A. contrató al laboratorio de ensayo Servicios Analíticos Generales S.A.C. (SAG) acreditado por INACAL, para que realice el monitoreo hídrico general, en su reporte del mes de junio de 2016 concluye, que la ciudad de Moquegua genera aguas residuales urbanas con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 270,3 mg/l, la que es tratada en la PTAR OMO, logrando bajarlo a 70,69 mg/l, esta es descargada directamente al río Moquegua que tiene una DBO₅ < 2,00 mg/l y como consecuencia del vertimiento es incrementada la DBO₅ a 21,75 mg/l. Siendo un problema ambiental en Moquegua esta contaminación del río.

1.1.2. Problemática de la investigación

En la última década y en torno al recurso hídrico se han desencadenado los mayores conflictos ambientales, económicos y sociales que afecta a Moquegua y que ha enfrentado a pobladores urbanos con los productores rurales, y a estos con las instituciones

competentes. En la escasez del recurso hídrico se cimienta esta relación confrontada, toda vez que los pobladores urbanos como agricultores ubicados en la parte media de la cuenca del río Moquegua tienen que compartir las pocas fuentes de agua superficial disponibles y de las aguas subterráneas de buena calidad ubicadas en la parte alta de la cuenca, para satisfacer las exigencias de los cultivos por el riego, y la necesidad humana por el agua de consumo. Sobre el recurso hídrico del subsuelo de la parte baja de la cuenca no existe esta competitividad debida a que la calidad de las aguas no es apropiada para el consumo humano, siendo por lo tanto, en su totalidad utilizadas para el desarrollo de la actividad agrícola.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efectos producirá los parámetros operativos, en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en las operaciones de la Planta de tratamiento de aguas residuales - OMO de Moquegua?

Preguntas de investigación:

- ❖ ¿Qué efecto producirá la demanda bioquímica de oxígeno en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el volumen del reactor?

- ❖ ¿Qué efecto producirá el oxígeno disuelto en el diseño de la planta de tratamiento en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la regulación del aire y en la recirculación del lodo?
- ❖ ¿Qué efecto producirá la temperatura en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, para la regulación del aire y en la recirculación del lodo?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La creciente escasez mundial de agua para consumo humano y actividades agrícolas adquiere especial importancia asociada al evidente peligro que representa la descarga de las aguas residuales urbanas (ARU) a suelos sin recibir ningún tratamiento sanitario. Una adecuada gestión ambiental asumida por las entidades encargadas del manejo de ARU, es transformar un problema ambiental en una oportunidad: Esto es el tratamiento sanitario eficiente de ARU para su aprovechamiento en actividades agrícolas.

En América Latina causa especial preocupación la baja cobertura de saneamiento y escaso tratamiento del agua residual doméstica lograda hacia finales del siglo XX (Moscoso, 2004).

Frente al problema mundial de escasez de agua y contaminación ambiental, cualquier intento de mejorar las operaciones de las plantas

existentes para mejorar la calidad de vida, justifican por si solo la investigación planteada en esta Tesis Doctoral.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

- Actualmente, en la Región Moquegua no se tienen experiencias documentadas sobre diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas por el método de lodos activados, y existen poca bibliografía sobre este tema. Sin embargo, con las experiencias de otros países como de Chile, México y España, en las que muchas obtienen conclusiones similares, se puede fundamentar y contrarrestar los resultados a obtenerse.
- El tratamiento de aguas residuales en las PTAR OMO de Moquegua no es la óptima, tampoco lo es el tratamiento de lodos generados, además de que las aguas del río Moquegua debido a la particular geodinámica regional ya contienen algunos metales pesados.
- Los resultados de esta investigación sólo servirá para gestionar en forma óptima la PTAR OMO de Moquegua.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Determinar los efectos de los parámetros operativos, en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en las operaciones de la Planta de tratamiento de aguas residuales de - OMO de Moquegua.

1.5.2. Objetivo específicos

- ✓ Calcular el volumen del reactor en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Evaluar el efecto que producirá el oxígeno disuelto en el diseño de la planta de tratamiento en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la regulación del aire y en la recirculación del lodo.
- ✓ Evaluar el efecto que producirá la temperatura en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, para la regulación del aire y en la recirculación del lodo.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Los parámetros operativos tendrán un efecto significativo en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en las

operaciones de la Planta de tratamiento de aguas residuales de - OMO de Moquegua.

1.6.2. Hipótesis específicas

- ✓ La demanda bioquímica de oxígeno producirá un efecto significativo en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el volumen del reactor.
- ✓ El oxígeno disuelto producirá un efecto significativo, en el diseño de la planta de tratamiento en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la regulación del aire y en la recirculación del lodo.
- ✓ La temperatura producirá un efecto significativo en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, para la regulación del aire y en la recirculación del lodo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

El tratamiento de aguas residuales consta de etapas o procesos con diferentes características que contribuyen a un nivel de purificación. Dentro de los procesos del tratamiento se encuentra la autodepuración. En esta etapa, los microorganismos y algas comparten la función de descomponer los desechos, gracias a la metabolización de las sustancias. Es aquí cuando se transforman todas las sustancias simples en dióxido de carbono, nitrógeno, entre otras. También cabe señalar que dentro del proceso de autodepuración, se encuentra la acción de microorganismos para absorber sustancias orgánicas (Metcalf y Eddy, 2003).

Ramalho (1990) refiere que: a pesar de la descomposición orgánica, debemos eliminar los patógenos que causan enfermedades en la salud e higiene de las personas. Esta eliminación requiere de fases que tengan como resultado estándares que cuiden el bienestar humano y ambiental. Todas estas fases se realizaron en conjuntos de reactores, llamada planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Es un área destinada a la recuperación del agua, mediante procesos físicos, químicos y

biológicos. De acuerdo a la calidad de agua que se desea obtener en el proceso de reutilización se colocan más exigentes los estándares de calidad.

Los investigadores en tratamiento de aguas residuales Moscoso (2004) y Rolim (2000) recomiendan que en las plantas de tratamiento se deberá buscar en todo momento, un diseño eficiente y económico que satisfaga la necesidad de la población específica en un tiempo específico, incluyendo un plan de mantenimiento y revisión constante.

Para satisfacer las necesidades de tratamiento de aguas residuales similares a la de Moquegua, se han desarrollado diferentes tipos de plantas de tratamientos de aguas residuales en otros lugares a lo largo de los años (Moscoso 2004; Rolim, 2000):

1) Sistemas Naturales

- ✓ Lagunas
- ✓ Disposición al suelo
- ✓ Humedales
- ✓ UASB

2) Sistemas Mecanizados Convencionales

- ✓ Lagunas aireadas
- ✓ Lodos Activados
- ✓ Filtros biológicos

3) Sistemas avanzados

- ✓ Remoción de nutrientes
- ✓ Flotación
- ✓ Filtración

2.1.1. En el ámbito internacional

La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el papel importante que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medioambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando, los deshechos.

Por su parte, el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 alienta a la industria a desarrollar su función social estableciendo sistemas de ordenación ambiental, códigos de conducta, medidas de certificación y publicación de informes sobre cuestiones ambientales y sociales. Un año más tarde, la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua reunidos en Kyoto - Japón propone recaudar fondos siguiendo criterios

de recuperación de costes que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, así como el principio de “quien contamina paga”.

2.1.2. En el ámbito tecnológico

Metcalf y Eddy (2003) indican que el desarrollo de los procesos biológicos aerobios en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, destacan dos grupos principales que son:

- a). Cultivos en suspensión: Proceso lodos activados (fangos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).
- b). Cultivos fijos. Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos).

2.1.3. Proceso de lodos activados (fangos activados)

Según Peña y Lara (2013) El proceso de lodos activados. Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, de los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para

separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza un recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Caracterización típica de las aguas residuales urbanas

Según indica Romero (2004) en su libro: *“Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de Diseño”*: Las aguas residuales urbanas están conformadas básicamente por residuos humanos y de las actividades que realizan en establecimientos comerciales, hospitales, colegios, edificios, etc.

Las caracterizaciones son de tres tipos:

- ✓ Biológica
- ✓ Química
- ✓ Física

2.2.1.1. Caracterización biológica de ARU

Los organismos que integran el ecosistema del ARU son principalmente: virus, bacterias, hongos, protozoarios y nematodos. El

principal objetivo que tiene el examen biológico de un agua residual es determinar la presencia de microorganismos patógenos que representen un peligro para la salud humana.

Según los investigadores Sánchez (2006); Nelson y otros (2004): Los microorganismos patógenos encontrados rutinariamente en un ARU pueden proceder de desechos humanos que estén infectados y sean portadores de enfermedades intestinales como la fiebre tifoidea, la disentería, la diarrea y el cólera. Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar e identificar. Por ello se emplean los coliformes fecales como organismos indicadores. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. Cada ser humano evacúa de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes al día. Hay otras bacterias presentes en el ARU sin tratar como la *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio cholerae*.

Los investigadores que han aportado sobre la identificación de los virus presentes en agua residuales, tenemos a Sánchez (2006); Fernández y Álvarez (2001), quienes indican los virus más comúnmente encontrados en el ARU están los siguientes géneros: Adenovirus, Enterovirus, Reovirus y el virus de la Hepatitis A.

2.2.1.2 Caracterización química de ARU

a. Constituyentes orgánicos

Rolím, (2000) y Barajas (2002) indican que los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos de nitrógeno. La composición del residuo orgánico en aguas residuales depende de su naturaleza y origen, muchos investigadores de los tratamientos de aguas residuales afirman que típicamente el material orgánico del ARU está compuesto por proteínas (40 a 65 %), hidratos de carbono (25 a 50 %), grasas y aceites (10 %).

Rolim (2000) y Alarcón (1998) manifiestan que la contaminación orgánica se ve reflejada en sus efectos sobre la concentración de oxígeno disuelto (OD) en las aguas receptoras. Cuando la velocidad de consumo de oxígeno excede a la velocidad de aireación atmosférica del agua contaminada, la concentración de oxígeno cae hasta provocar la muerte de algunas especies acuáticas que serán remplazadas por otras cuyos requerimientos de oxígeno sean menores.

Los ensayos de laboratorio más empleados mundialmente son:

- 1) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO),
- 2) Demanda química de oxígeno (DQO),
- 3) Demanda teórica de oxígeno (DTeO) y
- 4) Carbono orgánico total (COT).

b. Constituyentes inorgánicos

Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho al uso del agua residual urbana tratada:

b1.- pH: Romero (2004) y Rolim (2000) coinciden que la concentración del ión hidrógeno es un parámetro de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. Para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica existe un intervalo idóneo que es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones inadecuadas de pH presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, que deben variar de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de des nitrificación se recomienda valores de pH de 6,5 a 7,5.

b2.- Cloruros: Fernández, Álvarez y Espigares (2001) en su investigación de transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A, el otro parámetro de calidad importante es la concentración de cloruros,

las heces humanas, por ejemplo, suponen unos 6 g de cloruros por persona en un día. En lugares donde la dureza del agua es elevada, los compuestos utilizados para reducir la dureza también son fuentes importantes de cloruros. La infiltración de agua subterránea en las alcantarillas constituye también una considerable fuente de cloruros y sulfatos.

b3.- Azufre: Metcalf & Eddy (2003) indican que el ión sulfato se encuentra de forma natural en las aguas residuales. Para la síntesis de proteínas es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno (H_2S) bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias.

b4.- Alcalinidad: La alcalinidad de ARU es provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. De entre ellos los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos (Romero 2004; Rolim, 2000).

b5.- Gases: Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco

(NH₃) y el metano (CH₄). Los tres primeros gases son de común presencia en la atmósfera y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la MO presente en las aguas residuales (Crites, Tchobanoglous, 2000).

c. Nutriente en ARU

Barajas (2002) en su investigación de tesis doctoral *“Eliminación Biológica de Nutrientes en un reactor biológico secuencial, caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana”*. Concluye que los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Son esenciales para el crecimiento de vida acuática indeseable, razón por la cual también reciben el nombre de bioestimuladores. Cuando el contenido de nutrientes es insuficiente para realizar las funciones metabólicas básicas de los microorganismos, es necesario añadirlos. Por el contrario, cuando se requiere el control de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a los que se destina, puede ser necesaria la eliminación o reducción del nitrógeno y del fósforo.

2.2.1.3. Caracterización física de ARU

Se evalúa la temperatura, olores y la composición de sólidos

a.- Temperatura: Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y, aguas de enfriamiento, la polución térmica es significativa.

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación del oxígeno disuelto y la velocidad de reacciones químicas y la actividad bacterial. La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25 °C a 35 °C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50 °C. Cuando la temperatura es menor de 15 °C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5 °C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar (Escalante, Cardoso, Ramírez, Moeller, Mantilla, Montecillos, Servin, Villavicencio, 2003; Romero, 2004).

b.- Olores

La determinación del olor es cada vez más importante en las plantas de tratamiento de aguas residuales, porque afecta

directamente al poblador. El olor del agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno, que tiene olor a huevo podrido (Crites y col., 2000).

c.- Componentes sólidos

El agua residual urbana está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. El material sólido está por el orden del 0,1 % (Rolim, 2000).

La mayor parte de los componentes sólidos presentes en un ARU son: materia orgánica, nutrientes, metales pesados, materia inorgánica y microorganismos. Una considerable parte de estos están en estado coloidal y disueltos 70 %, y el 30 % se encuentran en forma particulada y comúnmente lo valoramos mediante la concentración de materia en suspensión (MES), de éstos el mayor porcentaje el (73 %) son sedimentables y el resto es no sedimentable (Metcalf & Eddy, 2003; Rolim, 2000)

El ARU tiene una composición promedio de 99,9 % de agua y 0,1 % de sólidos, de los cuales el 70 % son sólidos orgánicos (proteínas, carbohidratos, grasas) y 30 % son sólidos inorgánicos como: arenas, sales, metales. (Rolim, 2000).

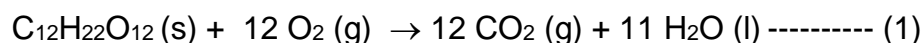
Los componentes orgánicos e inorgánicos están presentes en el agua residual en forma soluble e insoluble. En la bibliografía se definen principalmente tres tipos de sólidos: la materia en suspensión o sólidos suspendidos (MES o SS), la materia disuelta total o sólidos disueltos filtrables (MDT o SF) y la materia en suspensión volátil (MESV). A la suma de MES y MDT se le conoce como sólidos totales (ST). El límite entre los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos se determina basándose en el tamaño de las partículas que les constituyen. De manera específica, la bibliografía menciona los siguientes cuatro tipos de fracciones de sólidos, basándose en el tamaño de sus partículas: sedimentables (> de 100 μm), no sedimentables o supracoloidales (1-100 μm), coloidales (1 nm^{-1} μm) y solubles o disueltos (< 1 nm) (Barajas, 2002).

2.2.2. Evaluación de las cargas orgánicas de aguas residuales urbanas

2.2.2.1. Carbono orgánico total (COT)

Consiste en oxidar en forma total la materia orgánica en presencia de un catalizador y con una fuente de calor. Se mide la cantidad de CO₂ producido.

Debido a que la demanda teórica de oxígeno (DTeO) mide el requerimiento estequiométrico del oxígeno (O₂), y el carbono orgánico teórico (COTe) mide la presencia del carbono (C), la relación entre DTeO y COTe puede estimarse rápidamente por medio de la estequiometría de la ecuación de oxidación de la sacarosa, por ejemplo:



$$\text{DTeO} / \text{COTe} = (\text{peso molecular del oxígeno}) / (\text{peso molecular del carbono en la sacarosa})$$

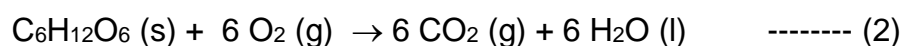
$$\text{DTeO} / \text{COTe} = 384/144 = 2,67$$

2.2.2.2. Demanda teórica de oxígeno (DTeO)

La composición de las aguas residuales urbanas es tan compleja por lo que la DTeO no puede ser calculada con exactitud, pero en la práctica, es aproximadamente igual a la demanda química de oxígeno (DQO) (Sánchez, 2006).

La demanda teórica de oxígeno (DTeO) corresponde a la cantidad estequiométrica de oxígeno necesaria para oxidar completamente un determinado compuesto. Es la cantidad teórica de oxígeno requerida para transformar completamente la fracción orgánica de aguas residuales en gas carbónico (CO₂) y agua (H₂O). Así:

1) La ecuación para oxidación total de la glucosa es:

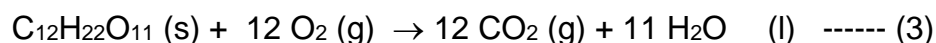


$$\frac{6 \text{ mol O}_2}{\text{mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \cdot \frac{32 \text{ g}}{\text{mol O}_2} \cdot \frac{\text{mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{180 \text{ g}} = 1,067 \text{ g O}_2 / \text{g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

$$\text{DTeO} = 1,0667 \text{ g O}_2 / \text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

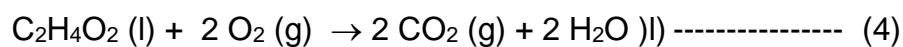
En este caso la DTeO indica que por cada gramo C₆H₁₂O₆ se requiere de 1,067 g de O₂.

2) La ecuación para oxidación total de la sacarosa es:



$$\text{DTeO} = 1,1228 \text{ g O}_2 / \text{g C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{12}$$

3) La ecuación para oxidación total del ácido acético es:



$$\text{DTeO} = 1,0667 \text{ g O}_2 / \text{g CH}_3\text{OOH}$$

2.2.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o bicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Este proceso oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico (CO_2) y agua (H_2O). La reacción es completa en más de 95 % de los casos. La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente (en cerca de tres horas), pero tienen la desventaja de que no ofrecen ninguna información de la proporción del orgánico que es oxidada por las bacterias. (Cisterna, Peña, 1999; Sánchez, 2006; Rolim, 2000).



La materia orgánica contiene carbono, hidrógeno y oxígeno, el CO_2 y H_2O es la oxidación de la materia orgánica y Cr_2O_3 con 2KOH expresan la reducción.

La demanda química de oxígeno total (DQO_T) está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{DQO}_T = \text{MO} + \text{MOD} + \text{MODB} + \text{MES} + \text{MESI} \quad \text{-----} \quad (6)$$

Dónde:

MO = Materia orgánica (mg/l).

MOD = Materia orgánica disuelta biodegradable, etanol, glucosa, etc. (mg/l).

MODB= Materia orgánica disuelta inerte, fenol, etc. (mg/l).

MES = Materia orgánica suspendida (mg/l).

MESI = Materia orgánica suspendida inerte (mg/l).

La DQO mide la concentración, no la contaminación, evalúa la degradación y no la biodegradación, es de análisis rápido, balanceable, y replicable.

Según (Metcalf y Eddy, 1995) los caudales se puede estimar así:

$$\text{Caudal mínimo} = (\text{Caudal promedio}) * K1 = 0,5 * (\text{Caudal promedio}) -$$

(7)

$$\text{Caudal máximo} = (\text{Caudal promedio}) * K2 = 2 * (\text{Caudal promedio}) ---$$

(8)

2.2.2.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas de tiempo y temperatura. Es el parámetro principal para evaluar el grado de contaminación del agua residual.

La eficacia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona: temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, factores que afectan directamente a la biología del sistema (Mara, Pearson, 1998).

La DBO_5 se determina generalmente a 20 °C, después de incubación durante cinco días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual. En la práctica se utiliza la DBO_5 , representa la demanda bioquímica a cinco días de incubación, porque es medida más fácilmente que la demanda bioquímica de oxígeno final (DBO_f), que representa el oxígeno necesario para la completa biooxidación del agua residual.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- ✓ Materia orgánica carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
- ✓ Nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico, que sirven de sustrato para bacterias específicas del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- ✓ Compuestos reductores químicos, como sulfito (SO_3^{2-}), sulfuro (S^{2-}) y el ión ferroso (Fe^{+2}), que son oxidados por oxígeno disuelto.

El conjunto de transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual. Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en una laguna son:

2.2.3. Tecnología de Tratamiento de Aguas Residuales

Se puede definir al tratamiento de aguas residuales como el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las etapas de purificación de una corriente, dentro de un área limitada, apartada y bajo condiciones controladas.

Las etapas que constituyen un sistema de tratamiento de aguas residuales se puede clasificar de manera general en tratamiento: preliminar, primario, secundario, terciario y de lodos.

2.2.3.1. Tratamiento preliminar

En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo. Los dispositivos de esta etapa separan los sólidos mayores o flotantes, eliminan los sólidos inorgánicos pesados y las cantidades excesivas de aceites o grasas. Por lo tanto, el tratamiento preliminar facilita los procesos subsecuentes de tratamiento.

Para alcanzar los objetivos de esta etapa se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- 1) Rejas de barras finas.
- 2) Desmenuzadores (cortadoras o trituradoras)
- 3) Desarenadores
- 4) Tanques de preareación

2.2.3.2. Tratamiento primario

En este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras, aproximadamente de 40 a 60 %, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. La actividad biológica en las aguas residuales urbanas durante esta etapa, es mínima (Rolim, 2000).

Los dispositivos para el tratamiento primario tienen como propósito fundamental disminuir la velocidad de las aguas residuales urbanas para que los sólidos puedan sedimentarse. Por consiguiente, a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques sedimentadores o de sedimentación (Romero, 2004).

Los tanques de sedimentación tienen una diversidad de diseños y sistemas de operación, sin embargo pueden dividirse en cuatro:

- 1) Tanques de doble acción como los Imhoff
- 2) Tanques sépticos
- 3) Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos
- 4) Clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos

. Existen casos en que se emplean productos químicos para el tratamiento primario, con el objetivo de facilitar el proceso de sedimentación.

2.2.3.3. Tratamiento secundario

Este tratamiento debe hacerse cuando a pesar del tratamiento primario, las aguas negras tienen más sólidos orgánicos en suspensión o solución, que los pueden ser asimilados por las aguas receptoras. La descomposición de los sólidos orgánicos en el tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aerobios o anaerobios que los transformarán en sólidos orgánicos o inorgánicos estables (Romero, 2004).

Los dispositivos que se usan para el tratamiento secundario son:

- 1) Filtros percoladores con tanques de sedimentación secundaria
- 2) Tanques de aeración
 - a) Lodos activados con tanques de sedimentación simple y
 - b) Aeración por contacto
- 3) Filtros intermitentes de arena y/o grava
- 4) Estanques de estabilización

Para este proyecto, se decidió emplear un sistema de lodos activados bajo condiciones aerobias, ya que poseen una gran variedad

de microorganismos capaces de remover la materia orgánica presente en el agua residual.

2.2.3.3.1. Sistema de tratamiento por lodos activados (STLA)

Tratamiento biológico de cultivo suspendido, donde el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. Durante el crecimiento y mezcla los organismos flocculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos (Romero, 2004).

La tecnología de Lodos Activados es una de las más difundidas a nivel mundial. Creada en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett, para el tratamiento de efluentes industriales y efluentes municipales. Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En la actualidad se utilizan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales. (Metcalf & Eddy, 2003)

El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión de flóculos en un sistema aireado y agitado.

Descripción del proceso

Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de fangos activados se lleva a cabo, normalmente utilizando un diagrama de flujo tal como el mostrado en la figura 1. El residuo orgánico se introduce en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se denomina líquido mezcla. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos o neumáticos que a su vez, sirven para mantener el líquido mezcla bajo condiciones homogéneas. (Romero, 2004)

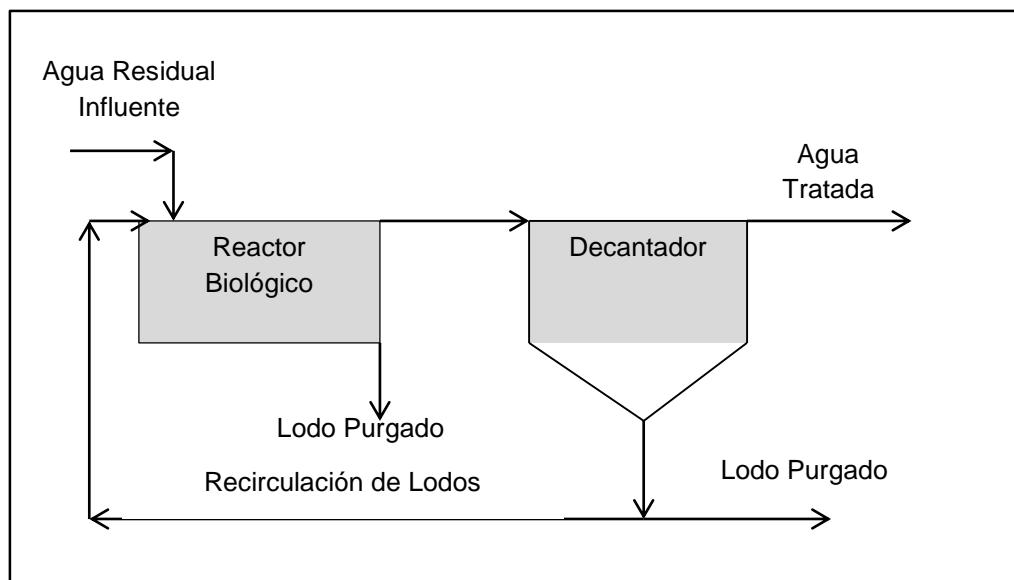


Figura 1: Proceso clásico de tratamiento de aguas residuales por lodos activados

Fuente: Adaptado del libro de Romero Jairo (2004).

Tras un período determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada.

Una parte de las células sedimentadas es recirculada para mantener la concentración deseada de organismos en el reactor, mientras que otra es purgada del sistema. (Romero, 2004).

Para separar los microorganismos, se diseñó un tanque sedimentador el cual permitirá recircular una fracción de ellos al reactor aerobio o su disposición final a los tanques de secado, obteniéndose al terminar este tratamiento un agua tratada con una menor concentración de sólidos y microorganismos.

2.3. FUNDAMENTOS PARA LA FORMULACIÓN Y COMPRENSIÓN DEL CONTROL FUZZY DE PTAR POR LODOS ACTIVADOS

En este punto se presentan los fundamentos necesarios para comprender o desarrollar un modelo Fuzzy (Lógica Difusa) para el control automático de las plantas de lodo activado.

A. ¿Qué es la Lógica Difusa?

Algunos investigadores de la Lógica Difusa lo definen como:

González Carlos (2011) define la Lógica Difusa como:

“Básicamente la Lógica Difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento. Asimismo, manifiesta que: Cuando aumenta la complejidad, los enunciados precisos pierden su significado y los enunciados útiles pierden precisión, que puede resumirse como que, los árboles no te dejan ver el bosque”.

Supo Roberto (2003) define la Lógica Difusa como:

“La mayoría de los fenómenos que encontramos cada día son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de dilucididad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura, o incluso en la semántica que describe lo que son. En muchos casos el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempo. Un día cálido en invierno no es exactamente lo mismo que un día cálido en primavera. La definición exacta de cuando la temperatura va de templada a caliente es imprecisa - no podemos identificar un punto simple de templado, así que emigramos a un simple grado, la temperatura es ahora considerada caliente. Este tipo de imprecisión o difusidad asociado continuamente a los fenómenos

es común en todos los campos de estudio: sociología, física, biología, finanzas”

B. Precisión vs. Significado

Los investigadores analizan respecto a la precisión, imprecisión y significado de las comunicaciones.

González Carlos (2011) manifiesta que en una comunicación lo más importante es el significado y no la precisión:

“Lo más relevante de la información es su significado, no la precisión. Por ejemplo, si nos va a caer una pesa sobre la cabeza, nos interesa que alguien nos grite rápidamente ¡Cuidado, arriba!, y no que nos diga que ¡un objeto de 500 kg de masa, se está aproximando a tu cabeza siguiendo una trayectoria perpendicular y recta a una velocidad de 47,32 m/s!”.

Supo Roberto (2003) manifiesta a la Imprecisión como:

“Aceptamos la imprecisión como una consecuencia natural de la forma de las cosas en el mundo. La dicotomía entre el rigor y la precisión del modelado matemático en todos los campos y la intrínseca incertidumbre del mundo real, no es generalmente aceptada por los científicos, filósofos y analistas de negocios. Nosotros simplemente aproximamos estos eventos a funciones

numéricas y escogemos un resultado en lugar de hacer un análisis del conocimiento empírico. Sin embargo procesamos y entendemos de manera implícita la imprecisión de la información fácilmente. Estamos capacitados para formular planes, tomar decisiones y reconocer conceptos compatibles con altos niveles de vaguedad y ambigüedad”.

C. Conjuntos Difusos

El conjunto difuso puede definirse una fusión de grupos con límites difusos. Sea X el Universo del discurso, y sus elementos se denotan como x . En la teoría clásica de conjuntos CRISP se define un conjunto C se define sobre X mediante la función característica de C como f_C (González, 2011; Supo, 2003).

$$f_C(x) = \begin{cases} 1 & \text{cuando } x \in C \\ 0 & \text{cuando } x \notin C \end{cases}$$

Este conjunto mapea el universo X en un conjunto de dos elementos, donde la función $f_C(x)$ es 1 si el elemento x pertenece al conjunto C y 0 si el elemento x no pertenece al conjunto C .

Si se generaliza esta función para que los valores asignados a los elementos del conjunto caigan en un rango particular y así indicar el grado de pertenencia de los elementos a ese conjunto, se tendrá una **función de pertenencia** de un determinado conjunto difuso. La función de pertenencia μ_A por la que se define un conjunto difuso A, sería:

$$\mu_A = X \rightarrow [0; 1]$$

Donde:

$\mu_A = 1$ si x está totalmente en A,

$\mu_A = 0$ si x no está en A,

$0 < \mu_A < 1$ si x está parcialmente en A.

Este valor entre 0 y 1 representa el grado de pertenencia (también llamado valor de pertenencia de un elemento x a un conjunto A.

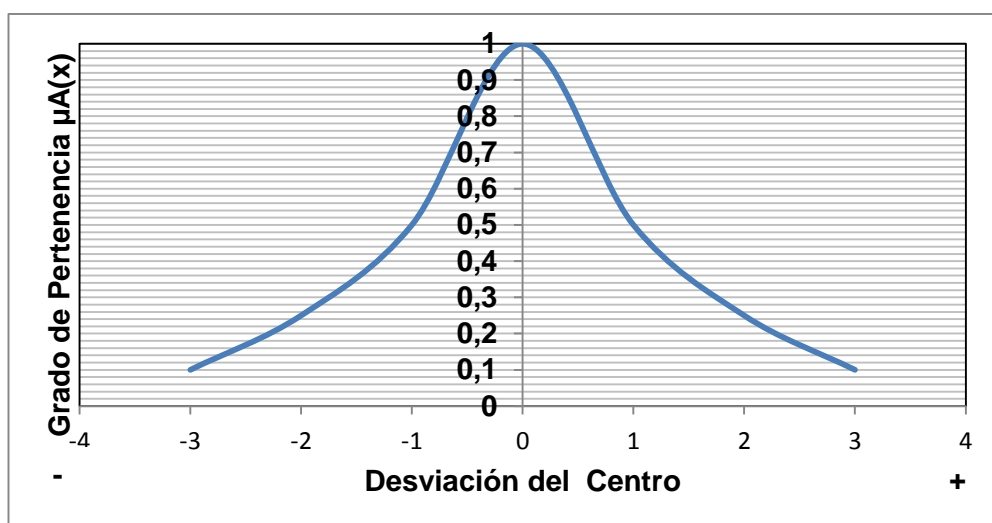


Figura 2: Conjunto fuzzy estable

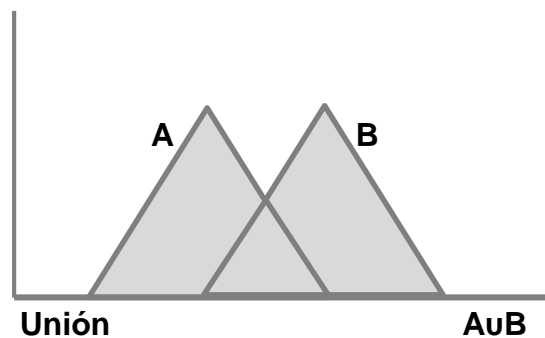
Fuente: Adaptado de Gonzáles Carlos (2011)

D. Operaciones de Conjuntos Difusos

Según González (2011) y Supo (2003) se emplean tres operaciones básicas de conjuntos difusos, que se definen sobre los conjuntos CRISP que son: Complemento, Unión e Intersección.

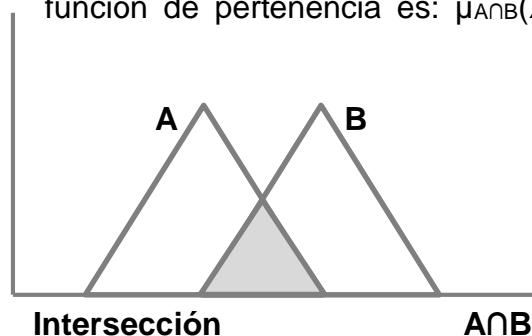
Unión de Conjuntos Difusos:

La unión de dos conjuntos difusos **A** y **B** es un conjunto difusos **A∪B** cuya función de pertenencia es: $\mu_{A\cup B}(X) = \max [\mu_A(X), \mu_B(X)] = U$



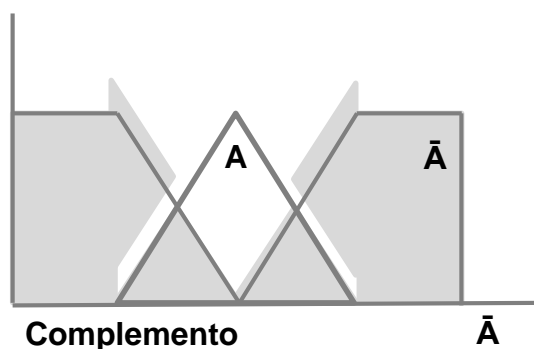
Intersección de Conjuntos Difusos:

La intersección de dos conjuntos difusos **A** y **B** es un conjunto difusos **A∩B** cuya función de pertenencia es: $\mu_{A\cap B}(X) = \min [\mu_A(X), \mu_B(X)] \square U$



Complementos de Conjuntos Difusos:

El conjunto complementario \bar{A} de un conjunto difuso A es aquel cuya función característica viene definida por: $\mu_{\bar{A}}(X) = 1 - \mu_A(X)$



E. Variables lingüísticas

La lógica fuzzy, basada en la teoría de conjuntos fuzzy, puede pensarse como una extensión de la lógica multivaluada. Sin embargo, difiere de ella en varios aspectos González (2011).

- Los valores de verdad son “valores de verdad lingüísticos”, como “cierto”, “muy cierto”, “algo falso”, etc. Cada uno de estos valores está representado por un conjunto fuzzy.
- Admite el uso de cuantificadores como “alguno”, “muchos”, “pocos”, etc, representado por un conjunto fuzzy.
- Incluye el uso de modificaciones como “muy”, “algo”, “no”, etc. que representa operaciones matemáticas sobre los conjuntos fuzzy a los que afecta. Por ejemplo, si A es un conjunto fuzzy definido sobre un universo U con función de pertenencia $\mu_A(X)$

F. El controlador lógico fuzzy (CLF)

Según los investigadores Manga, J.; Serralta, J.; Seco, A.; Ferrer, J. (2001) el enfoque tradicional, el diseño de un controlador automático de una PTAR se basa en un análisis cabal de proceso y una vez que se posee un modelo cuantitativo de éste, todas las decisiones se calculan usando algoritmos estrictamente numéricos. Es evidente que solo a procesos “**dóciles**” al análisis cuantitativo les son aplicables técnicas de control de naturaleza numérica. Por otro lado, existe un número considerable de procesos difíciles de controlar automáticamente en virtud a complejidad de su “**modelamiento**” preciso y sin embargo, “**operadores humanos**” muestran magníficos resultados en su control. Esto, unido a la aparición de la teoría de los conjuntos fuzzy y la disponibilidad de potentes medios de cómputo, estimuló la investigación acerca de las estrategias de control de esos operadores, expresadas por medio de “**reglas heurísticas**”, para convertirlas en estrategias de control automático.

El controlador lógico fuzzy (CLF) resultante se basaría, entonces, en el “**modelo lingüístico**” de la estrategia del operador humano, o sea, en un “modelo decisional” del experto. La esencia de tal modelo es un programa basado en “**reglas**”, por lo que clasifica entre los llamados “**sistemas Expertos**”.

En la mayoría de los casos, las reglas toman la forma:

Si [precedencia] **ENTONCES** [consecuencia]

La precedencia refleja el “**estado**” (la salida) de proceso, mediante términos lingüísticos y la consecuencia representa las “acciones de control” (**variables manipuladas, entradas**) también lingüísticas que se les hacen corresponder por el experto.

De modo que la precedencia sería de la forma:

[Variable de estado 1] **ES** [Conjunto Fuzzy] **Y** [variable de estado 2] **ES**
[Conjunto Fuzzy]

Y la consecuencia:

[Variable de acción 1] **ES** [Conjunto Fuzzy] **Y** [variable de acción 2] **ES**
[Conjunto Fuzzy]

G. Arquitectura básica de un Controlador Lógico Fuzzy (CLF)

Los investigadores Manga, Serralta, Seco y Ferrer (2001), y Vera (2002) indican que los CLF tiene la misma función que los controladores convencionales proporcional-integral-derivativos (PID), los PID manejan una superficie de control compleja, leyendo información en el campo a través de sensores, ejecutando un “modelo matemático” y haciendo

cambios en los dispositivos actuadores. **Los CLF**, sin embargo, manejan esta superficie de control compleja a través de un **“modelo heurístico”** más que matemático. Adicionalmente, un sistema fuzzy es capaz de aproximar, con algún grado de precisión, cualquier función continua lineal o no lineal (Vera, 2002). Un controlador fuzzy es un modelo de un sistema fuzzy. Emplea conjuntos fuzzy para representar las propiedades semánticas de cada variable de estado y de acción, y procesa éstas entradas y salidas usando un conjunto de regla de producción del tipo SI-ENTONCES (IF-THEN) que asocian un valor de entrada, a través de una colección de conjuntos fuzzy, hacia una nueva representación de la salida.

En la Figura 3 se tiene la arquitectura básica de un CLF típico. El proceso comienza con una señal eléctrica. La señal es convertida a una representación significativa y entonces es “fuzificada”, esto es, los valores son convertidos a sus representaciones fuzzy. Esos valores de los sensores ejecutan todas las reglas existentes en la **“base de conocimiento”** resultando una nueva representación de conjunto fuzzy para cada variable de salida. La **“defuzificación”** por el método del **“centroide”** (centro de gravedad) es usada, en la mayoría de los casos, para obtener el “valor esperado”, de cada una de las variables de salida las cuales se ajustan el estado del sistema físico (proceso). El nuevo

estado del sistema es capturado por los sensores y el proceso comienza una vez más.

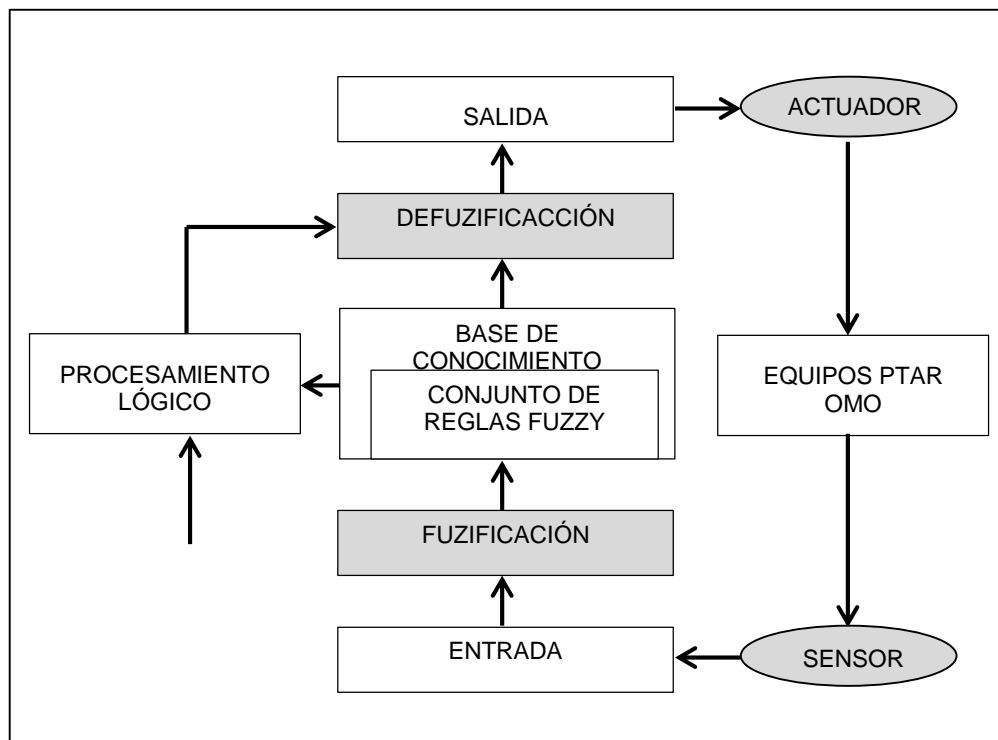


Figura 3: Arquitectura de un Controlador Lógico Fuzzy (CLF)

Fuente: Adaptado de Meneses 1997

H. Componentes solubles y particulados en el control clásico de una PTAR por lodos activados

Los componentes clásicos de control en una PTAR se presentan en la Tabla 1, como lo indica Vera (2002).

Tabla 1

Elementos de control convencional en una PTAR por el método de lodos activados

COMPONENTES	SÍMBOLO	UNIDAD
COMPONENTES SOLUBLES		
Materia orgánica soluble inerte	S _I	M DQO/V
Sustrato fácilmente biodegradable	S _S	M DQO/V
Oxígeno disuelto	S _O	M/V
Nitrato	S _{NO}	M N/V
Amonio	S _{NH}	M N/V
Nitrógeno orgánico soluble biodegradable	S _{ND}	M N/V
Alcalinidad	S _{ALK}	Mol/V
COMPONENTES PARTICULADOS		
Materia orgánica particulada inerte	X _I	M DQO/V
Sustrato lentamente biodegradable	X _S	M DQO/V
Biomasa heterótrofa activa	X _{BH}	M DQO/V
Biomasa autótrofa activa	X _{BA}	M DQO/V
Productos del proceso de decaimiento celular	X _P	M DQO/V
Nitrógeno orgánico particulado biodegradable	X _{ND}	M N/V

Fuente: Vera (2002)

Nota:

M: masa; V: volumen; N: Nitrógeno; DQO: Demanda Química de Oxígeno

Con respecto a la materia orgánica, la DQO total del ARU está dada por la siguiente relación:

$$DQO_{Total} = S_I + X_I + S_S + X_S \text{ ----- (9)}$$

El sustrato fácilmente biodegradable es la materia orgánica que puede ser utilizada directamente, sin mediar un proceso de hidrólisis, por las bacterias heterótrofas. En el caso del sustrato lentamente biodegradable, previo a su utilización por las bacterias es necesario un proceso de hidrólisis.

La DQO total se puede medir experimentalmente. Para medir la materia orgánica soluble inerte es necesario implementar un reactor de lodo activado, alimentado con la misma ARU a tratar, con un tiempo de residencia de sólidos mayor de 10 días. Cuando se alcance el estado estacionario se retira un volumen de efluente y se airea continuamente en un reactor discontinuo discontinuo, midiendo periódicamente la DQO soluble hasta que se obtiene un valor estable. Este valor puede ser considerado la DQO inerte soluble en el ARU. Este es un valor aproximado porque las bacterias producen productos solubles cuando degradan la materia orgánica, y si estos productos son inertes se determinan como si estuvieran presentes en el ARU. La información sobre la producción de productos solubles por las bacterias en el tratamiento de ARU es muy escasa.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Amoníaco. Su química es sencilla en el medio acuático, tiene dos formas, el ion amonio (NH_4^+) y el amoníaco desionizado (NH_3). El amoníaco desionizado puede resultar tóxico para algunas formas de vida acuática; el ión amonio puede resultar menos tóxico.

Aerobio. Aplicable a los microorganismos que necesitan del aire para sobrevivir.

Aguas negras. Aguas que son originadas por los residuos de seres humanos, animales o alimentos.

Agua residual. Es agua no tratada, consideradas como altamente contaminadas excediendo los límites máximos permisibles y estándares de calidad ambiental; es aparentemente turbia y su temperatura oscila entre los 10 °C a 20 °C. (Ingeniería ambiental James R. Mihelcic-Julie Beth Zimmerman, 2011.pag. 463)

Agua residual industrial. Agua descargada proveniente de una actividad industrial, su nombre común es vertimiento.

Aireación. Acción de introducir aire comprimido en un líquido.

Aireación mecánica. Uso de la energía mecánica para inyectar aire al agua, y cuyo objetivo es la absorción de oxígeno.

Anaerobio. En biología, es el organismo que puede sobrevivir sin oxígeno, se encuentran en la sedimentación de lodos o lechos bacterianos.

Bacterias. Son microorganismos unicelulares y tienen un largo aproximado entre 0,5 y 5 μm , algunas requieren oxígeno para sobrevivir, mientras que para otros este gas es mortífero, algunos generan oxígeno mientras que otros azufre.

Bacterias coliformes. Es un indicador de la existencia de contaminantes y patógenos. Usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente.

Biodegradable. Es una sustancia que se descompone en sus elementos integrantes por acción de agentes biológicos, por ejemplo plantas, algas, microorganismos.

Caudal. Flujo de agua superficial en un río o en un canal su unidad de medida es en litros por segundo en caudales aguas residuales.

Caudal máximo horario. Es el mayor caudal que se genera al ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales, la unidad de medida es en lps (litros/seg.) o $\text{m}^3/\text{día}$.

Caudal medio de agua residual. Es el caudal que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales, la unidad de medida es en lps (litros/seg.) o $\text{m}^3/\text{día}$.

Cloración. Consiste en la desinfección del agua, se añade para controlar los microorganismos presentes. Oxida los productos contaminantes en el agua.

Cloro. Es un gas amarillo-verdoso, contiene una gran toxicidad para humanos y animales. Es un desinfectante muy usado; su uso implica algunos riesgos, por ejemplo la formación de trihalometanos. (Kiely, 1999).

Coagulación. Equivale a juntar las cosas. Se relaciona con la floculación y el tratamiento químico. En sí la coagulación es la desestabilización por neutralización de las partículas cargadas y el inicio del incremento de coloides.

Coliforme. Son especies bacterianas con características bioquímicas y que en el análisis de aguas residuales domésticas, son indicadores de contaminación de aguas residuales. El significado de la palabra es con forma de coli, bacteria conocida científicamente como *Escherichia coli*, fue descubierta por el alemán Theodor von Escherich en el año 1860.

Control inteligente. Control basado en un sistema de inteligencia artificial con inferencia difusa y trabaja con razonamiento e incertidumbre. No requiere de un modelamiento matemático.

Eficiencia de remoción. Es la cantidad de materia orgánica a eliminarse y la diferencia es la que recircula nuevamente en el reactor, para crear actividad de los microorganismos y degraden la materia orgánica.

Efluente tratado. Líquido residual tratado que fluye de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Estequiometría. Es el cálculo de los elementos reactivos y sus productos.

Crecimiento Aeróbico. Crecimiento de los microorganismos en presencia de oxígeno disuelto y que también que son accionado por un aireador.

Eutrofización. Es un proceso que se da en lagos, lagunas de oxidación se cargan de nutrientes pero en exceso, causan el crecimiento de plantas y organismos, que consumen el oxígeno disuelto en el agua y también en su senectud y muerte originan la putrefacción consumiendo una gran cantidad de oxígeno disuelto y como consecuencia la vida acuática deja de existir.

Floculación. Es la creación de partículas gruesas por aglomeración de partículas pequeñas; el proceso es generalmente acelerado por medios mecánicos, físicos, químicos o biológicos.

Flotación. Es lo opuesto a sedimentación, se aplica la tecnología de la flotabilidad para separar las grasas, aceites y lubricantes. Para su efecto se aplica aire del fondo hacia la superficie y luego son removidos por

desnate (Ingeniería ambiental James R. Mihelcic-Julie Beth Zimmerman, 2011).

Fósforo. Es un elemento que en el agua residual favorece la eutrofización, su presencia favorece el crecimiento de algas planctónicas, en ambientes acuáticos se encuentra en la forma de fosfato y es un nutriente limitante, ya que si es usado en su totalidad, el crecimiento de las plantas se detiene, sin importar el nitrógeno existente o disponible.

Lagunas aireadas. Se utiliza esta tecnología generalmente, cuando la disponibilidad de terreno es escasa y se tiene una alta concentración de materia orgánica. No se recomienda utilizar lagunas aireadas en serie.

Lagunas de estabilización. Las lagunas de estabilización son reactores diseñados para el tratamiento secundario de las aguas residuales, se realizan por procesos biológicos en la cual interaccionan los microorganismos (algas, bacterias y protozoarios) y la materia orgánica contenida en el agua residual doméstica. Se aplica cuando se necesita un alto grado de remoción de organismos patógenos.

Materia orgánica entrante. Es la concentración orgánica que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales, para su medición se aplica el procedimiento de análisis de DBO₅

MATLAB. Es un software que requiere un pago de cuota anual por licencia personal de 2500 dólares americanos al año, tiene un simulador

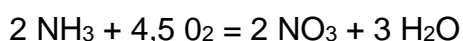
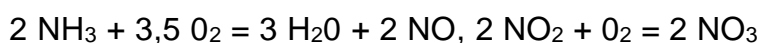
de fangos activos. Es útil para investigaciones en universidades para realizar investigaciones. Matlab es un sistema basado en la matemática muy versátil y que resuelve ecuaciones diferenciales de segundo orden y permite ir más allá de otros programas comercialización de modelización de aguas residuales.

Metano. Gas incoloro, es inflamable e inodoro, menos pesado que el aire; se produce por la descomposición de la materia orgánica.

Microorganismo. Seres vivos microscópicos, abarcado por hongos, bacterias, algas, etc., algunos generan oxígeno y otros generan azufre.

Nitrógeno. Cuando el amoníaco se oxida a nitrato, necesita cantidades importantes de oxígeno. La primera oxidación es a nitrito mediante bacterias nitrosomonas. El nitrito es tóxico y se utiliza como conservante en la alimentación. Un segundo grupo de bacterias toman el nitrito y lo oxidan a nitrato. La concentración de nitrito en una población de bacterias es raro que estén alrededor de 0,1 mg/l.

Las ecuaciones son las siguientes:



Oxidación. Es un cambio químico; un átomo o grupo de átomos pierde electrones y la reducción es también un cambio químico, en el que un

átomo o grupo de átomos ganan electrones. (Jerome Rosemberg, 1973, Química General).

Oxígeno disuelto. Es un elemento importante para la respiración de los microorganismos aerobios; es ligeramente soluble en el agua. Su deficiencia es uno de los factores para influir en los olores desagradables. El análisis en laboratorio mide la cantidad de oxígeno disuelto O_2 en una solución, oxígeno que se introduce del ambiente superficial o por aereación.

Ph. El pH es una medida de acidez alcalinidad. Nos indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ que se encuentran presentes en determinadas disoluciones. Es importante para la eliminación de la contaminación orgánica, el PH óptimo de los lodos activados está situado entre 6,5 y 8,5. La actividad bacteriana puede desarrollarse fuera de los límites descritos, pero con una adecuada aclimatación de la vida bacteriana.

Proceso anaeróbico básico. Son aquellos que ocurren sin oxígeno. Es diferente a un proceso anóxico debido a que es un ambiente reductor, que no es lo mismo que un ambiente sin oxígeno. Ambos procesos son anóxicos, pero el anaeróbico es un ambiente reductor, más allá del anóxico

Sedimentación. Es el proceso de separación de las partículas más densas que el agua y que tienen velocidad apreciable de sedimentación, permitiendo que puedan llegar por gravedad al fondo del tanque sedimentador.

Sensores. Consiste en dispositivos que modifican los cambios de temperatura en señales eléctricas y que luego son decodificadas y que pueden ingresar como datos numéricos en un software y mostrarse en señales osciloscópicas..

Tiempo de retención hidráulica. Es frecuente fijarlo en forma arbitraria entre 2-3 h, sin ningún fundamento. La retención está en función de la actividad biológica de los fangos. Cuando se trata de un lodo biológicamente activo y con una menor o moderada cantidad de oxígeno disuelto entrando en el clarificador es mejor tener el tiempo de residencia más corto.

Tratamiento de aguas residuales. Cualquier tratamiento de aguas residuales que incluye el retiro de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno y un alto porcentaje de sólidos suspendidos, evitando la eutrofización.

Reactor biológico. Es un recipiente en el cual actúan reacciones biológicas con crecimiento y reproducción de microorganismos aeróbicos que luego mueren y sedimentan. En esta tesis están oxigenados por un

aireador automatizado para incrementar su tiempo de vida adulta del microorganismo. .

Sedimentación. Proceso físico de separación entre partículas sólidas y el medio líquido que las contiene únicamente por la acción de las fuerzas gravitatorias.

Sólidos en suspensión. Todas las corrientes residuales tienen sólidos en suspensión. Las aguas provenientes de las redes de alcantarillado doméstico, dependiendo de su concentración, tienen de 150 a 250 mg/l. Los residuos petroquímicos pueden tener TSS en un exceso de 400 mg/l. Algunas corrientes residuales, incluyendo las plantas papeleras, residuos alimenticios y algunos procesos petroquímicos, tienen cantidades de TSS en un exceso de 1000 mg/ml.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es una investigación no experimental, donde no se hacen variar intencionalmente las variables independientes. Se trata de un diseño transversal porque se plantea una relación entre diversas variables de estudio en las que los datos se recolectan en un determinado corte puntual en el tiempo. Descriptivo porque se enumeran las características de algún concepto, sin determinar sus interrelaciones y rango.

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo, correlacional:

- ❖ **Descriptivo:** se pretende describir las características del agua residual urbana antes, durante y pos tratamiento en una PTAR por el proceso de lodos activados.
- ❖ **Correlacional:** se pretende correlacionar las variables independientes y dependientes, con el objetivo de lograr un diseño que más se adecue al tratamiento de aguas residuales de las pozas de retención de Moquegua.

3.1.1. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

a) Parte experimental

Consiste en determinar la caracterización del agua residual que es descargada en la PTAR OMO. Para tal fin se tomarán muestras para su evaluación integral en un laboratorio certificado por INACAL.

a) Parte descriptiva

En esta parte se diseñará el sistema de gestión ambiental de la futura planta propuesta para el tratamiento de las aguas residuales que son descargadas a la PTAR OMO.

Diagrama de una PTAR por el proceso de lodos activados:

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la planta.

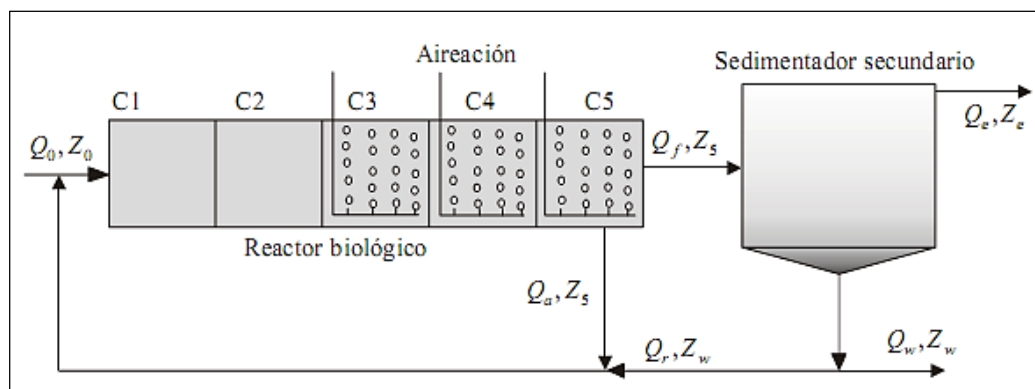


Figura 4: Representación esquemática de una PTAR por lodos activados,

Fuente: Vera Cortés (2002)

Una PTAR por lodos activado es un reactor biológico, dividido en cinco compartimientos, de los cuales los compartimientos C1 y C2 no tienen aireación (casi nula de oxígeno disuelto) y los compartimientos C3, C4 y C5 son aireados por tuberías en la parte inferior de las celdas. El proceso continúa con un sedimentador secundario donde no hay reacción de ningún tipo, solamente la sedimentación de los lodos.

Los factores controlables del sistema son la velocidad de flujo del influente de la planta Q_0 , y las concentraciones de los compuestos en dicho influente Z_0 . Q_f es la velocidad de flujo que sale del reactor biológico hacia el sedimentador secundario, Q_a es la velocidad de flujo del recirculado interno y las concentraciones de todos los compuestos en estos dos flujos es la variable Z_5 . La descarga del sedimentador secundario se divide en dos flujos: Agua decantada (agua residual tratada en la planta) y la descarga de lodos de desperdicio.

Q_r es la velocidad de flujo recirculante y Q_w es la velocidad de flujo de lodos de desperdicio, ambos flujos tienen las mismas concentraciones Z_w . Finalmente, la velocidad de flujo y las concentraciones en el efluente de la planta son Q_e y Z_e .

El objetivo del proceso es obtener un efluente con las menores concentraciones posibles de contaminantes. Para alcanzar este objetivo se debe de mantener una buena actividad biológica. Una estrategia

clásica de control llevada a cabo en muchas plantas de tratamiento de lodos activados es la siguiente:

- a) Control de oxígeno disuelto en los compartimientos aireados, para mantener la actividad biológica y la velocidad de nitrificación; y
- b) Control de nitratos y nitritos, pues de él depende la velocidad de denitrificación y además, son contaminantes que se quiere eliminar.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra que se utilizó para este estudio proviene de un muestreo que se tomó a la entrada y descarga de la PTAR OMO, que fue de acuerdo a los protocolos de manejo y toma de muestras.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variables

3.3.1.1. Identificación de las variables

Variables dependientes:

- ❖ Y : Diseño de Planta de tratamiento de aguas residuales
- ❖ Volumen de reactor

- ❖ Regulación de aire
- ❖ Regulación de recirculación de loco.

Variables independientes:

- ❖ X: Parámetros operativos.
- ❖ DBO₅
- ❖ Oxígeno disuelto.
- ❖ Temperatura.

3.3.1.2. Caracterización de las variables

Variables independientes:

- ❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es el parámetro de mayor importancia que indica el grado de contaminación en aguas residuales a partir de su contenido de sustancias biodegradables. Ese contenido se expresa en función de la demanda de oxígeno de los microorganismos participantes en la degradación de la materia orgánica.
- ❖ Oxígeno Disuelto (OD): Es un parámetro que mide el oxígeno gaseoso disuelto. Se introduce en el agua mediante difusión desde la superficie de la planta de tratamiento y también por aireación mecánica. Se expresa en mg oxígeno disuel por litro de agua residual.

- ❖ Temperatura: Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento, la polución térmica es significativa para los microorganismos en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Variables dependientes:

- ❖ Volumen del reactor: Constituye la variable dependiente en función de la demanda bioquímica de oxígeno, espacio tridimensional donde se realizó la actividad de los microorganismos para la degradación de los orgánicos presentes en la Planta de tratamiento de aguas residuales. Se evaluó aplicando modelos matemáticos.
- ❖ Regulación del aire: Es el flujo volumétrico de aire que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo, en este caso fue medido en aire bajo equivalente menor a 30 %; aire óptimo, equivalente entre 30 % y 80 %; aire alto, equivalente mayor de 80 %. La valoración porcentual se refiere al grado de abertura automatizada para la regulación del aire
- ❖ Regulación de recirculación de lodo. Es el flujo volumétrico de lodo que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo, en

este caso fue medido en recirculación bajo, equivalente menor a 30 %; aire óptimo equivalente entre 30 % y 70 mg/l; aire alto, equivalente mayor de 70 %, la valoración porcentual se refiere al grado de abertura automatizada para la regulación de la recirculación de lodo.

3.3.2. Definición operacional de las variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	VALORACIÓN
X: PARÁMETROS OPERATIVOS	X ₁ DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	INTERVALO	≤ 10 PPM ECA
	X ₂ OXÍGENO DISUELTO	mg/l	INTERVALO	BAJO <5 mg/l ÓPTIMO (5mg/l - 10 mg/l) ALTO >10 mg/l
	X ₃ TEMPERATURA	°C	INTERVALO	BAJO < 15 °C ÓPTIMO (15 °C - 25 °C) ALTO > 25 %
Y: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	Y ₁ VOLUMEN DEL REACTOR	M ³	INTERVALO	APLICACIÓN DE FÓRMULA
	Y ₂ REGULACIÓN DEL AIRE	BAJO ÓPTIMO ALTO	INTERVALO	BAJO < 30 % ÓPTIMO (30 % - 80 %) ALTO > 80%
	Y ₃ REGULACIÓN DE LA RECIRCULACIÓN	BAJO ÓPTIMO ALTO	INTERVALO	BAJO < 30 % ÓPTIMO (30 % - 70 %) ALTO > 70%

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para realizar los muestreos de las aguas residuales en las diferentes etapas, se utilizó el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos propuesta por la Autoridad Nacional del Agua – DGCRH, en la que se estandariza el monitoreo, detallando los lugares de muestreo, conservación, transporte de las muestras y análisis de las aguas residuales.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En la tabla adjunta se presenta el método de muestreo y análisis empleado.

Tabla 2

Metodología de Muestreo, transporte y ensayo de aguas residuales

ENSAYO	MÉTODO	L.C.	UNIDADES
Aceites y grasas (MEM)	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N – Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry – 2010	0,5 ^(b)	mg/L

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5 Day BOD Test	2,00	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SM 5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD) Closed Reflux, Colirimetric Method	10,0 0	mg/L
Sólidos suspendidos Totales (TSS)	SM 2540 D. Solids Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	3,00	mg/L
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	SM 4500-PE. Phosphorus. Ascorbic Acid Method	0,02 0	(PO ₄ ⁻³) mg/l
Nitratos	SM 4500-NO ₃ ⁻ E. Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method	0,03 0	NO ₃ ⁻ N mg/L
Oxígeno Disuelto OD	SM 4500-OC Oxigen (Dissolved). Azide Modification.	0,61 ^(c) b)	O ₂ mg/L
Numeración de coliformes fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure	1,8 ^(b)	NMP/100mL
Numeración de coliformes Totales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique	1,8 ^(b)	NMP/100mL
Metales totales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Cerio, Cromo,	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace elements in Waters and Wates by Inductively Coupled Plasma – Atomic	----	mg/L

Cobalto, Cobre, Hierro, Emission Spectrometry. 1994

Plomo, Litio, Magnesio,

Manganeso, Mercurio,

Molibdeno, Níquel,

Fósforo, Potasio, Selenio,

Sílice (SiO₂), Plata, Sodio,

Estroncio, Talio, Estaño,

Titanio, Vanadio, Zinc)

L.C.: Límite de cuantificación

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuatitativos

(b) Expresado como límite de detección del método.

CAPÍTULO IV

MARCO FILOSÓFICO

Actualmente la población de las ciudades va en aumento, especialmente en los países en desarrollo. Uno de los temas clave en estos países es el diseño y construcción de las redes de abastecimiento de agua y de alcantarillado. Así pues, una correcta gestión del agua residual es esencial para garantizar una calidad sanitaria y ambiental básica en las ciudades. Uno de los temas más innovadores es considerar también cómo minimizar el impacto ambiental global de las infraestructuras de saneamiento.

Se requiere un Sistema de Gestión de Procesos que reestructure y mejore los procesos, eliminando pasos innecesarios, a los que se les llamará de ahora en adelante desperdicios. Desperdicio: es cualquier actividad que utiliza recursos, pero que no aporta ningún valor al proceso o a su salida.

En los años 50 en la empresa japonesa Toyota Motor Company inicia el diseño del “Sistema de Producción de Toyota” (SPT) y su creador fue Taiichi Ohno, según refiere el autor: “Fue su mayor contribución para construir un sistema de producción que pudiera responder sin despilfarros

a los cambios del mercado y que, adicionalmente, por su propia naturaleza redujera los costos”.

El término “Lean” y toda sus variantes “Lean Thinking”, “Lean Management”, “Ergo Lean” fueron utilizados en el occidente en los años 80, para describir el Sistema de Producción de Toyota. Estos sistemas metodológicos o conjunto de herramientas de gestión que pueden ser aplicados en forma aislada: ***Es una Filosofía o forma de pensar para la mejora continua.***

La filosofía “Lean” conduce a una visión integrada de la cultura y la estrategia para atender al cliente final con alta calidad, bajo costo y tiempo de entrega, produciendo exactamente lo que el cliente final quiere, cuándo lo quiere, dónde lo quiere, a un costo mínimo y precio justo. Siendo el cliente final quien determina si el servicio o producto que la empresa entrega tiene valor o no.

Hay cuatro conceptos claves y básicos que se requieren en toda organización que vaya a adoptar la filosofía Lean y quiera hacerlo con éxito:

1. **Valor:** El valor es definido en última instancia por el cliente, y es una medida de cómo un producto o servicio satisface las necesidades de los clientes. La gestión debe identificar lo que genera valor, tal y como lo define el cliente, en un proceso o producto.

2. **Cadena de valor:** La cadena de valor son todas las actividades y procesos implicados en producir un producto final con valor, tal y como lo define el cliente. Identificar la cadena de valor permite a los administradores reconocer dónde se puede realizar mejoras y dónde la cadena de valor puede optimizarse eliminando los desperdicios.
3. **Pull:** Aplicar la filosofía Lean en una organización significa migrar a un sistema donde los clientes prefieren (pull) o demanden los productos a través de la cadena de valor. Esto significa que la organización fabricará lo que los clientes piden, y tal y como lo piden, en vez de producir una serie de bienes basados en predicción de ventas y previsión del mercado. Una vez que el valor ha sido definido, y la cadena de valor identificada, los productos pueden ser demandados a través de la cadena de valor.
4. **Perfección:** Las organizaciones deberían pretender la mejora continua en los procesos y productos. Esto significa revisar los procesos y las necesidades de los clientes para tratar de conseguir el producto o servicio ideal tal y como lo demanda el cliente. Una vez que los productos con valor están siendo demandados a través de la cadena de valor, los procesos implicados deberían ser revisados y optimizados dentro de un ciclo de mejora continua.

El problema de las ciudades es el manejo y tratamiento de sus aguas residuales, y depurarlos de acuerdo a las exigencias normativas y ECA ambientales, por lo que la planificación ambiental y urbanística es un elemento fundamental en el diseño del ciclo urbano del agua. Estos resultados pretenden ser una herramienta que ayude en la gestión de los futuros asentamientos, principalmente en países en vías de desarrollo, o la rehabilitación de las redes más antiguas de nuestras ciudades. Considerando que la longitud del alcantarillado dentro de una ciudad puede ser de decenas de kilómetros, una correcta gestión puede reducir la huella ambiental de los sistemas urbanos.

El más antiguo alcantarillado de que se tiene referencia, es el que fue construido en Nippur (India), alrededor del 3750 AC. Posteriormente, en los centros poblados de Asia Menor y de Oriente Próximo utilizaron conductos de alfarería. En Atenas y Corinto, en la Grecia antigua, se construyeron verdaderos sistemas de alcantarillado. Se utilizaron canales rectangulares, cubiertos con losas planas (atarjeas, propiamente dichas), que eventualmente formaban parte del pavimento de las calles; a las atarjeas aflúan otros conductos secundarios, formando verdaderas redes de alcantarillado.

El primer sistema moderno de alcantarillado se diseñó en Hamburgo en 1842, utilizando las más modernas teorías de la época, teniendo en

cuenta las condiciones topográficas y las necesidades reales de la comunidad. Este hecho significó un espectacular avance, considerando que los principios fundamentales en que se basó el proyecto no se generalizaron hasta inicios de los 1900, y siguen vigentes en la actualidad.



Figura 5: Fotos de los Sistemas de evacuación de aguas residuales urbanas diseñado por los antiguos griegos en la Isla Creta.

Fuente: A. Angelakis, 2005

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En esta sección se muestra los resultados de las evaluaciones realizadas en el campo y simulación, a través de tablas y figuras, interpretación de los mismos y discusión contrastadas con los resultados del marco teórico conceptual y referencial.

5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS DE LA PTAR OMO - MOQUEGUA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el sector Omo de Moquegua, trata las aguas servidas que se generan en el Centro Histórico, los centros poblados San Antonio, San Francisco, Chen Chen y el distrito de Samegua.

El proyecto fue ejecutado por el Gobierno Regional de Moquegua y transferido a EPS MOQUEGUA S.A., y el efluente de la PTAR es descargado al Río Moquegua.

Los componentes de la PTAR OMO son: 02 Lagunas Primarias Anaeróbicas, 02 Lagunas Secundarias Facultativas, 02 Lagunas Terciarias de Maduración, Edificaciones y Equipamiento para la

operación-mantenimiento y sub estación de energía eléctrica; finalmente, figuran los siguientes componentes auxiliares: Vías de Acceso, Campamento.

La PTAR OMO tiene capacidad instalada	131 lps.
Capacidad operativa en la fecha de monitoreo	136 lps.
Población de diseño	91 620 hab.
Población en la fecha de monitoreo (año 2016)	92 724 hab.

Tabla 3

Ubicación de los componentes de la PTAR OMO

	Coordenada UTM	
	Norte	Este
Entrada a la PTAR	8092213,00	290924,60
Descarga de PTAR	8091532,22	290603,16
Punto de vertimiento al río	8089159,05	288554,98

Fuente: Expediente técnico del GRM

Tabla 4*Dimensiones de las Lagunas facultativas de la PTAR OMO*

Tratamiento	Cantidad	Dimensiones	
Pre Tratamiento	1	Inclinación de cribas: 45° a 60°, tiene canal de distribución, desarenador	Población 2016: 92 724 hab. Caudal promedio: 131,25 lps DBO ₅ : 270,3 mg/l
Laguna Anaeróbico	2	Longitud = 109,5 m Ancho = 109,5 m Altura = 4,5 m Volumen= 30 135,4 m ³	PR = 3,61 días Inclinación talud (V:1, H:) 2,5 Borde libre: 0,5 m Caudal Efluente: 11 566,8 m ³ /día
Laguna Facultativa Secundaria	2	Longitud = 317 m Ancho = 162 m Altura = 3 m Volumen= 121 290 m ³	PR = 17,3 días Inclinación talud (V:1, H:) 2 Borde libre: 0,5 m
Laguna Facultativa Terciaria	2	Longitud = 259 m Ancho = 91 m Altura = 3 m Volumen= 52 920 m ³	PR = 7,8 días Inclinación talud (V:1, H:) 2 Borde libre: 0,5 m DBO ₅ : 70,69 mg/l

Fuente: Expediente técnico del GRM.

Nota:

PR = Período de retención

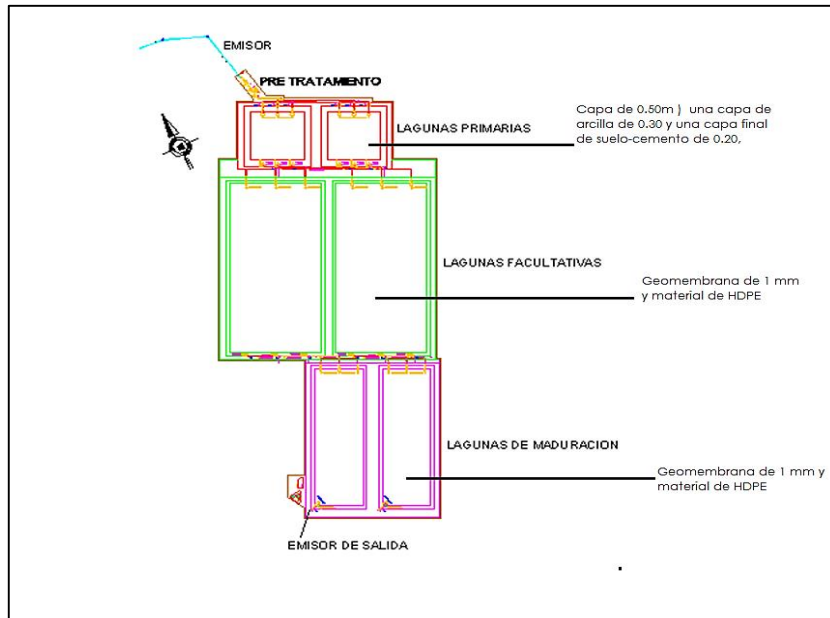


Figura 6: Distribución de las lagunas facultativas de la PTAR OMO

Fuente: Expediente técnico del GRM.



Figura 7: Fotografía Satelital de la PTAR OMO

Fuente: Expediente técnico del GRM.

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA TRATADA EN LA PTAR – OMO - MOQUEGUA

Para la caracterización del agua residual urbana sin tratar y tratada, se tomó las muestras y se evaluaron en forma secuencial en el campo y analizado en el Laboratorio SAG, laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL.

Se adjunta en la tabla adjunta los resultados de los análisis.

Tabla 5

Ensayos de los principales parámetros de aguas residuales en la PTAR OMO - Moquegua

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo			
		Entrada PTAR	Descarga PTAR	100 m río arriba	100 m río abajo
Aceites y grasas	mg/L	61,3	1,1	<0,5	<0,5
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	270,3	70,69	<2,00	21,16
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	613,3	210	<10,0	54,75
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	194,9	79,95	<3,00	18,96
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	13,09	15,57	0,024	3,8
Nitratos	NO ₃ ⁻ Nmg/L	<0,03	0,316	1,12	1,02
Oxígeno Disuelto (OD)	O ₂ mg/L	<0,5	<0,5	11,61	11,46
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100mL	170 x 10 ⁴	330	130	170
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	33 x 10 ⁶	79000	1300	49000
pH	unid. pH	7,8	7,7	8,5	7,96
Conductividad	μS/cm	582	721	26,82	1561
Temperatura	°C	22,23	22,43	26,82	26,82

Fuente: Informe de Ensayo N° 106299-2016 – SAG - Laboratorio acreditado por INACAL

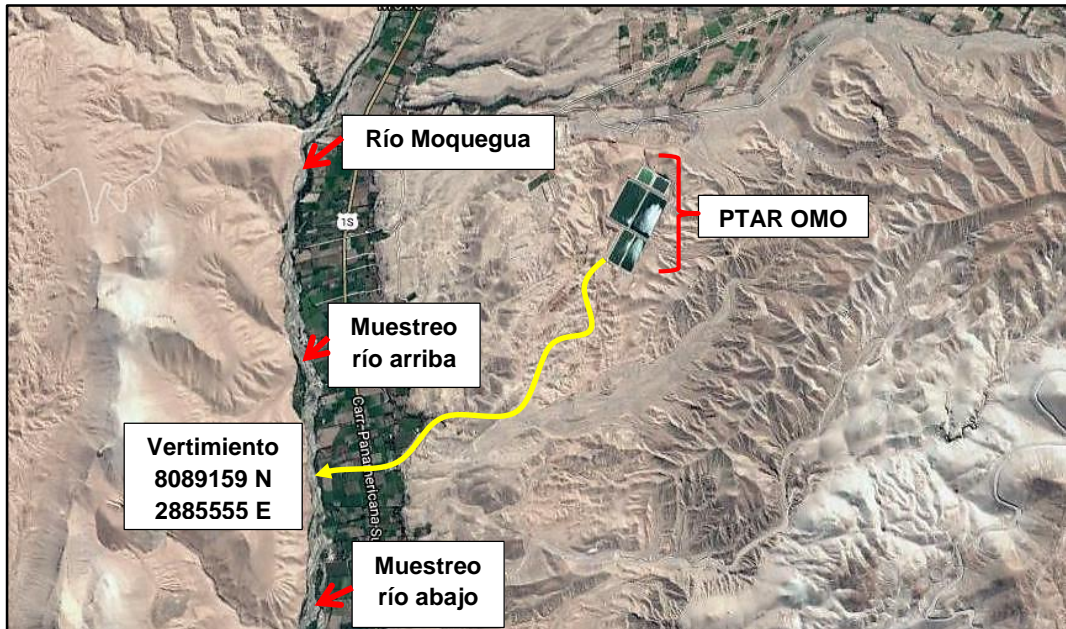


Figura 8: Fotografía Satelital de los puntos de monitoreo del Río Moquegua

Fuente: Informe de Ensayo N° 106299-2016 – SAG - Laboratorio acreditado por INACAL.

Tabla 6**INFORME DE ENSAYO N° 106299-2016 – LABORATORIO SAG CON VALOR OFICIAL – REGISTRO N° LE-047/INACAL****II. RESULTADOS:**

Producto declarado			Agua residual doméstica	Agua residual doméstica tratada
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2016-09-27	2016-09-27
Hora de inicio de muestreo (h)			10:30	11:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del cliente			Ingreso a PTAR OMO	Salida PTAR OMO
Código del laboratorio			16092508	16092509
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados	
Metales Totales				
Plata (Ag)	0,0007	mg/L	< 0,0007	< 0,0007
Aluminio (Al)	0,01	mg/L	0,92	0,04
Arsénico (As)	0,001	mg/L	< 0,001	< 0,001
Boro (B)	0,002	mg/L	0,850	0,822
Bario (Ba)	0,002	mg/L	0,080	0,045
Berilio (Be)	0,0003	mg/L	< 0,0003	< 0,0003
Calcio (Ca)	0,05	mg/L	71,79	71,48
Cadmio (Ca)	0,0004	mg/L	< 0,0004	< 0,0004
Cerio (Ce)	0,002	mg/L	< 0,002	< 0,002
Cobalto (Co)	0,0005	mg/L	< 0,0005	< 0,0005
Cromo (Cr)	0,0004	mg/L	< 0,0004	< 0,0004
Cobre (Cu)	0,0007	mg/L	0,0219	< 0,0007
Hierro (Fe)	0,002	mg/L	0,516	0,053
Mercurio (Hg)	0,001	mg/L	< 0,001	< 0,001
Potasio (K)	0,04	mg/L	26,29	22,66
Lítio (Li)	0,003	mg/L	0,146	0,115
Magnesio (Mg)	0,04	mg/L	10,54	10,72
Manganeso (Mn)	0,0005	mg/L	0,0537	0,0613
Molibdeno (Mo)	0,002	mg/L	< 0,002	< 0,002
Sodio (Na)	0,02	mg/L	108,17	95,78
Níquel (Ni)	0,0006	mg/L	< 0,0006	< 0,0006
Fósforo (P)	0,003	mg/L	10,690	6,937
Plomo (Pb)	0,0005	mg/L	< 0,0005	0,0008
Antimonio (Sb)	0,002	mg/L	< 0,002	< 0,002
Selenio (Se)	0,003	mg/L	< 0,003	< 0,003
Sílice (SiO ₂)	0,03	mg/L	85,37	92,98
Estaño (Sn)	0,001	mg/L	< 0,001	< 0,001
Estroncio (Sr)	0,001	mg/L	0,467	0,448
Titanio (Ti)	0,0003	mg/L	0,0042	0,0003
Talio (Tl)	0,003	mg/L	0,003	< 0,003
Vanadio (V)	0,0004	mg/L	< 0,0004	< 0,004
Zinc (Zn)	0,002	mg/L	0,162	< 0,002

L.D.M.: Límite de detección del método

Tabla 7

Contaminación generada en el Río Moquegua por la descarga de la PTAR OMO – Moquegua

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo			
		100 m río arriba	100 m río abajo	Incremento Contaminación	Incremento porcentual
Aceites y grasas	mg/L	0,5	0,5	0	0,00%
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2	21,16	19,16	958,00%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	10	54,75	44,75	447,50%
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	3	18,96	15,96	532,00%
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	0,024	3,8	3,776	15 733,3%
Nitratos	NO ₃ ⁻ Nmg/L	1,12	1,02	-0,1	-8,93%
Oxígeno Disuelto (OD)	O ₂ mg/L	11,61	11,46	-0,15	-1,29%
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100mL	130	170	40	30,77%
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	1300	49 000	47700	3 669,2%
pH	unid. pH	8,5	7,96	-0,54	-6,35%
Conductividad	µS/cm	26,82	1561	1 534,18	5 720,3%
Temperatura	°C	26,82	26,82	0	0,00%

Fuente: Cálculos propios

Interpretación:

En la tabla 9 se observa que por el efecto de la descarga del agua residual tratada en la PTAR OMO, contamina al Río Moquegua incrementando en 44,75 mg/L la demanda química de oxígeno (DQO) (447,5 %), en 19,16 mg/L la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (958 %), en 15,96 mg/L los sólidos suspendidos totales (TSS) (532 %), y en 47 700 NMP/100 mL la numeración de coliformes totales (3 669,2 %), lo que obliga reemplazar las lagunas facultativas de OMO, por otra planta de tratamiento de tratamiento más eficiente.

Tabla 8

Población y producción de aguas residuales urbanas proyectada de la ciudad de Moquegua al año 2035

Año	Población proyectada	Producción m ³ /día	Año	Población proyectada	Producción m ³ /día
2016	92 724	11 750,4	2026	111 927	14 550,5
2017	94 486	12 283,1	2027	114 053	14 826,9
2018	96 281	12 516,5	2028	116 220	15 108,7
2019	98 110	12 754,3	2029	118 429	15 395,7
2020	99 974	12 996,7	2030	120 679	15 688,2
2021	101 874	13 243,6	2031	122 972	15 986,3
2022	103 810	13 495,2	2032	125 308	16 290,1
2023	105 782	13 751,6	2033	127 689	16 599,6
2024	107 792	14 012,9	2034	130 115	16 915,0
2025	109 840	14 279,2	2035	132 587	17 236,3

Fuente: Elaboración propia, tasa de crecimiento 1,9% anual - INEI

Interpretación:

Se observa en la tabla que la población en el año 2035 incrementará en 50 % respecto al presente año; asimismo, el caudal tratado 12 283,1 m³/día incrementará a 17 236,3 m³/día. Con este incremento la PTAR de OMO, colapsará completamente por falta de capacidad y espacio para incrementar más lagunas facultativas.

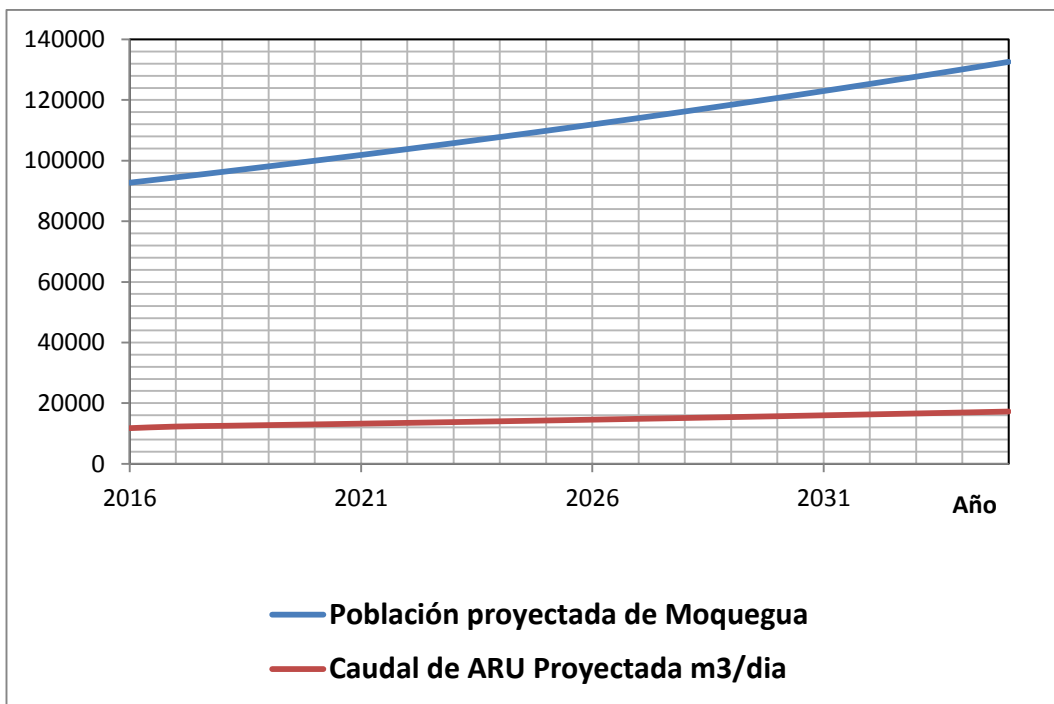


Figura 9: Proyección de la población y caudal de ARU producidas en Moquegua

Fuente: Tabla 8

Tabla 9

Proyección de aguas residuales urbanas: caudal promedio, mínimo y máximo en lps generados en la ciudad de Moquegua al año 2035

Año	Caudal promedio lps	Caudal mínimo lps	Caudal máximo lps	Año	Caudal promedio lps	Caudal mínimo lps	Caudal máximo lps
2016	136	68	272	2026	168	84	337
2017	142	71	284	2027	172	86	343
2018	145	72	290	2028	175	87	350
2019	148	74	295	2029	178	89	356
2020	150	75	301	2030	182	91	363
2021	153	77	307	2031	185	93	370
2022	156	78	312	2032	189	94	377
2023	159	80	318	2033	192	96	384
2024	162	81	324	2034	196	98	392
2025	165	83	331	2035	199	100	399

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Según (Metcalf y Eddy, 1995)

*Caudal mínimo = (Caudal promedio)*K1 = 0,5*(Caudal promedio)*

*Caudal máximo = (Caudal promedio)*K2 = 2*(Caudal promedio)*

5.3 DISEÑO DE PTAR POR LODOS ACTIVADOS - OMO - MOQUEGUA

Diseño del reactor convencional:

Datos de la PTAR OMO:

Caudal medio del agua residual (Q_r)	12 300 m ³ /día = 142 lps
Caudal máximo horario (Q_{mh})	24 600 m ³ /día = 284 lps
Materia orgánica entrante (S_o)	270,3 mg DBO ₅ /l
Carga orgánica aplicada	3 324,69 kg DBO ₅ /día

Eficiencia de remoción del DBO₅ = 95% (Norma técnica S.010)

$$DBO_5 (S_e) = 270,3 \cdot (1 - 0,95) = 13,515 \text{ mg DBO}_5 / l$$

PARÁMETRO	INTERVALO	VALOR DE DISEÑO	UNIDAD
Y	0,4 - 0,8	0,7	kg SSVLM / kg DBO ₅
K_d	0,025 - 0,075	0,05	1/día
θ_c	20 - 30	30	días
X_t	3 000 – 6 000	3 000	mg /l
Q_r / Q	0,5 - 1,5	0,5	

Fuente: Adaptado de la Norma S.010

Nota: El rango de parámetros se encuentra estipulado en la norma técnica peruana S.010

Donde:

- Y** : Es el coeficiente de la concentración del lodo de retorno respecto a la demanda biológica
- K_d** : Coeficiente de respiración o decaimiento de microorganismos de primer orden
- θ_c** : Tiempo de residencia de los microorganismos
- X_t** : Concentración de sólido suspendidos volátiles en el reactor
- Q_r / Q_{mh}** : Relación de recirculación en el reactor

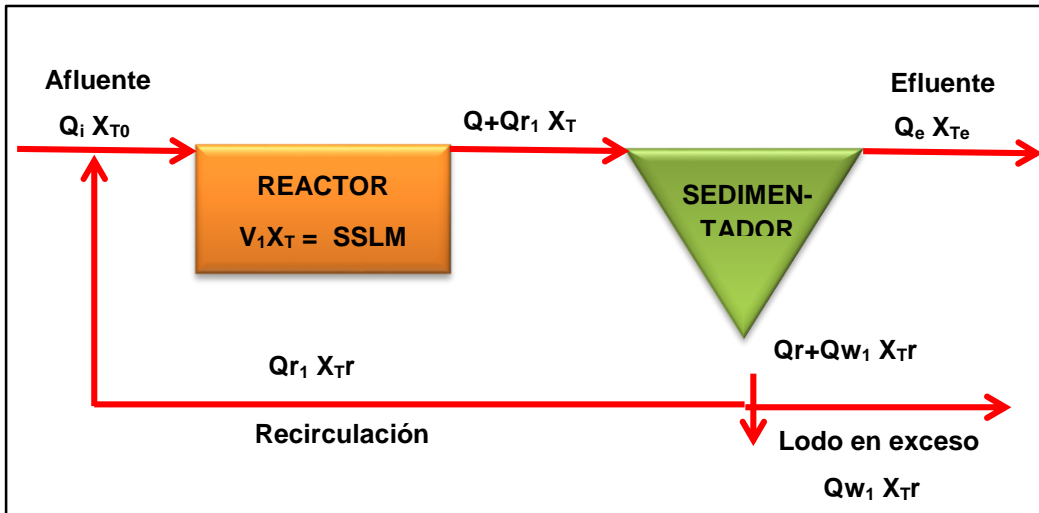


Figura 10: Flujograma en una PTAR por lodos activados

Fuente: Adaptado del libro de Romero Jairo (2004).

a) Cálculo del volumen del Reactor

Se emplea la siguiente fórmula:

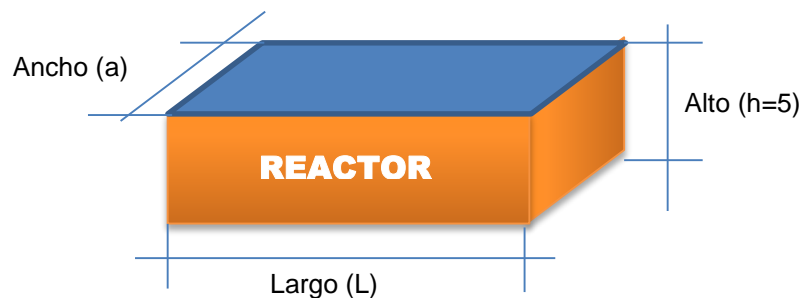
$$V = \frac{\theta c * Qr * Y(S_0 - Se)}{X_t(1 + Kd * \theta c)}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 30 * 12\,300 * 0,7 * (270,3 - 13,515) / (3\,000 * (1 + 0,05 * 30))$$

$$V = 8\,843,68 \text{ m}^3$$

Dimensiones del Reactor:



$$V = L \cdot a \cdot h = 8\,843,68 \text{ m}^3$$

$$\text{Como } h = 5 \text{ m}$$

$$L/a = 3$$

Entonces se tendrá:

$$\text{Largo (L)} = 72,84 \text{ m}$$

$$\text{Ancho (a)} = 24,28 \text{ m}$$

$$\text{Alto (h)} = 5 \text{ m}$$

b) Cálculo del tiempo de retención hidráulico del reactor (TRH)

$$Q_h = 12\,300/24 = 512,5 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$\text{TRH} = V/Q_h = (8\,843,68)/512,5 = 17,26 \text{ horas}$$

La norma técnica peruana indica que el TRH debe estar entre 16 a 48 horas.

c) Cálculo del consumo de oxígeno (kg O₂/día)

Se requiere oxígeno para reducir la demanda biológica (DBO₅) y para la oxidación química (DQO) de los orgánicos del agua residual.

	Demanda mg O ₂ /l	Consumo oxígeno (kg O ₂ /día)
Demanda biológica	270,3	2271
Demanda química	613,3	5424
Demanda Total	883,6	7695

d) Cálculo de las dimensiones básicas del espesador

❖ Cálculo del área del espejo del espesador (A_s)

Cálculos previos:

Se estima:

$$R = Q_r/Q_{mh} = 0,5$$

Se calcula la concentración de sólidos en recirculación (X_r)

$$X_r = X_t \cdot R = 3000 \cdot 0,5 = 1\,500 \text{ mg de SSV/l}$$

Carga de sólidos

Con estos valores se calcula (A_s)

$$A_s = (1 + R) \cdot X_r \cdot Q_{mh} \cdot 3,6 / (C_s \cdot 1\,000)$$

$$A_s = 629,49 \text{ m}^2$$

Radio del sedimentador (R_s)

$$R_s = (629,49 / 3,1416)^{1/2}$$

$$R_s = 14,16 \text{ m}$$

El diámetro del sedimentador (D_s)

$$D_s = 28,31 \text{ m}$$

En la figura adjunta se tiene que la altura del sedimentador (H) es igual a:

$$H = h_1 + h_2$$

Los fabricantes de sedimentadores utilizan la relación $R_s/H = 3$

También se tiene que:

$$h_2 = R_s \cdot \tan(5^\circ) = 1,24 \text{ m}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$H = 4,72 \text{ m}; h_1 = 3,48 \text{ m}; h_2 = 1,24 \text{ m}$$

Se calcula el volumen del espesador (Vs):

$$V_s = \pi \cdot R_s^2 \cdot h_1 + \pi \cdot R_s^2 \cdot h_2 / 3$$

$$V_s = 3\,452,44 \text{ m}^3$$

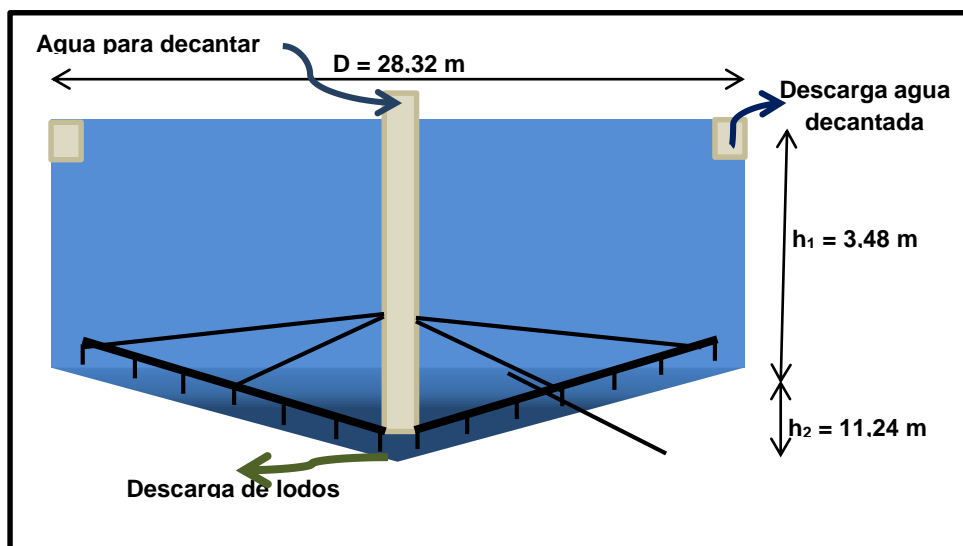


Figura 11: Diseño del sedimentador en una PTAR por lodos activados

Fuente: Adaptado del libro de Romero Jairo (2004).

Producción de lodos (Px)

$$P_x = Q \cdot Y_{\text{estimada}} \cdot (S_o - S_e) / 1\,000$$

Calculando Y_{estimada}

$$Y_{\text{estimada}} = Y \cdot \frac{Q_r}{Q} \cdot \left(1 + \left(\frac{K_d \cdot Q_c}{1000} \right) \right)$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Y_{\text{estimada}} = 0,28$$

$$P_x = 884,37 \text{ kg de lodo/día}$$

5.4 DISEÑO DE CONTROL FUZZY PARA LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS

5.4.1 Definición de Variables Controlables y Manipulables

El crecimiento de las bacterias, actividad bacteriológica, tiempo de vida bacterial, degradación del material orgánico de las ARU en el reactor dependen de la dosificación del aire, del tiempo de residencia del agua, de la cantidad de lodos reciclados y de la temperatura del agua.

Por lo que se diseña un control difuso en tiempo real, con sensores que analizan el OD y la temperatura del agua en el reactor. Con esta información el sistema debe regular la cantidad de aire necesaria para el proceso, asimismo, regular la cantidad de lodo recirculado (ver figura 12).

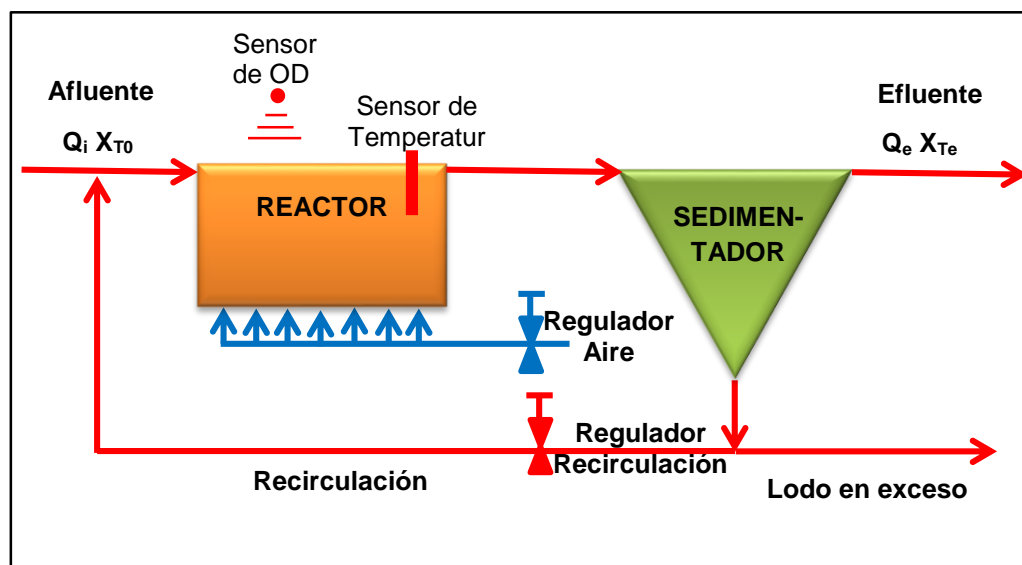


Figura 12: Diseño del sistema de control Fuzzy para la PTAR OMO

Fuente: Elaboración propia

a) Representación Fuzzy de las variables de control y regulación del proceso

Para implementar este sistema propuesto se utilizó MatLab

❖ Representación Fuzzy del Oxígeno Disuelto (OD) en las ARU en proceso, evaluadas en el Reactor

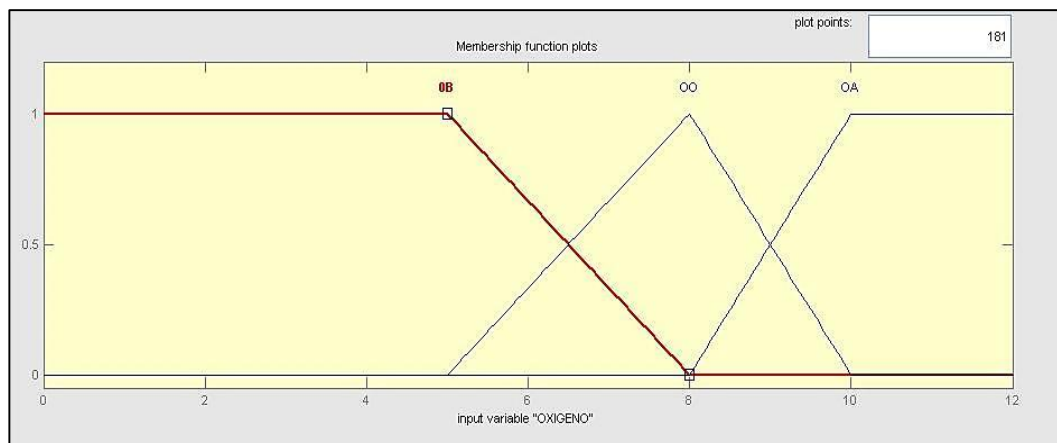


Figura 13: Representación Fuzzy del contenido de OD del agua en el reactor

Fuente: Elaboración propia

Términos lingüístico:

OB: Bajo contenido de OD, < 5 mg/l

OO: Contenido óptimo de oxígeno disuelto en el ARU, menor 10 mg/l y mayor de 5 mg/l

OA: Sobresaturación de oxígeno disuelto en el ARU, mayor de 10 mg/l

- ❖ Representación Fuzzy de la temperatura en las ARU en proceso, evaluadas en el Reactor

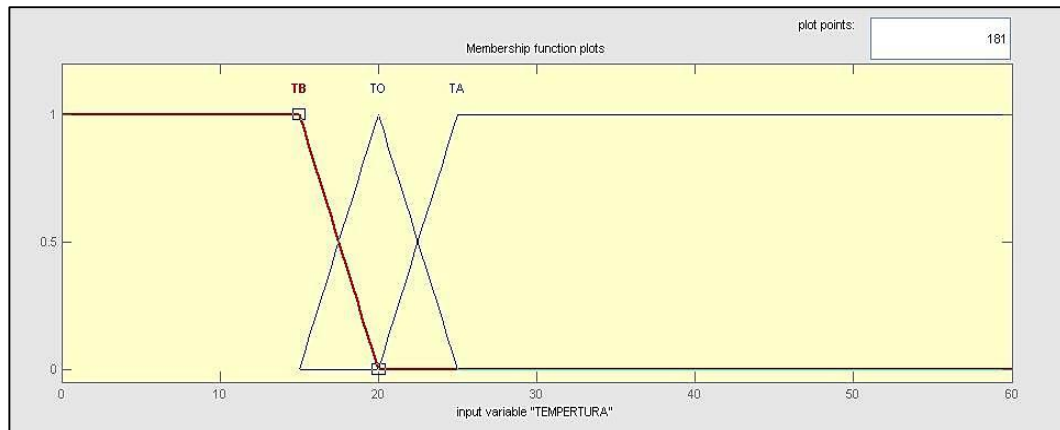


Figura 14: Representación Fuzzy de la temperatura del agua en el reactor

Fuente: Elaboración propia

Términos lingüísticos:

TB: Baja temperatura del agua en el reactor, $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

TO: Temperatura óptima del ARU, menor $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mayor de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$

TA: Sobrecalentamiento del agua, mayor de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

❖ Representación Fuzzy de la aireación de las ARU en el proceso

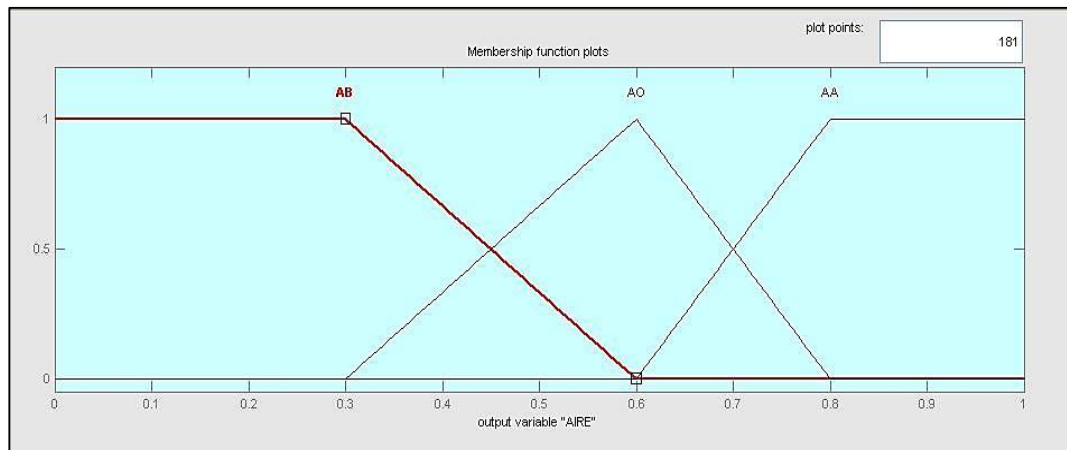


Figura 15: Representación Fuzzy de la abertura de la válvula de control de aire que alimenta al reactor

Fuente: Elaboración propia

Términos lingüísticos:

AB: Baja dosificación de aire, abertura de la válvula reguladora de aire al reactor, < 30 %

AO: Dosificación óptima de aire, abertura de la válvula reguladora de aire al reactor, entre 30 % y 80 %

AA: Alta dosificación de aire, abertura de la válvula reguladora de aire al reactor, > 80 %

❖ Representación Fuzzy de la recirculación de lodos en el proceso

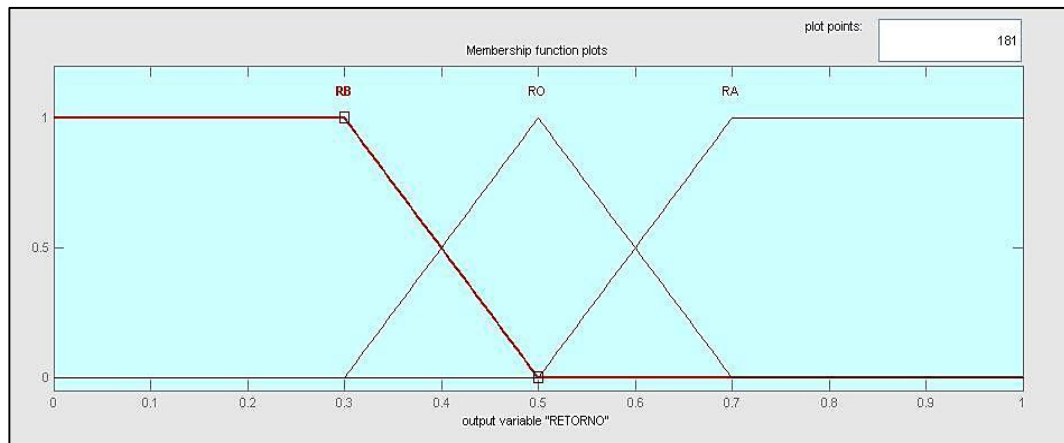


Figura 16: Representación Fuzzy de la abertura de la válvula de control del recirculación de lodos en el proceso

Fuente: Elaboración propia

Términos lingüísticos:

RB: Bajo recirculación de lodo, abertura de la válvula reguladora de lodo al reactor, < 30%

RO: Recirculación óptimo de lodo, abertura de la válvula reguladora de lodo al reactor, entre 30% y 70%

RA: Alto recirculación de lodo, abertura de la válvula reguladora de lodo al reactor, > 70%

5.4.2 Representación de la Memoria Asociativa Fuzzy (MAF)

Es una representación muy común en el campo de la ingeniería de control, es llamada memoria asociativa fuzzy (MAF) la que podemos apreciar en la tabla 12.

Tabla 10

Matriz de memoria asociativa fuzzy (MAF) del estado del estado de las válvulas reguladoras de aire y reciclaje de lodo respecto al contenido de OD y temperatura del agua en proceso de tratamiento en el reactor.

Oxígeno Disuelto en el Reactor	Temperatura del agua en el reactor		
	Baja (TB)	Óptima (TO)	Alta (TA)
OD bajo (OB)	Abrir al máximo (AA) Reciclar bajo (RB)	Abrir máximo (AA) Reciclar óptimo (RO)	Abrir máximo (AA) Reciclar alto (RA)
OD óptimo (OO)	Abrir óptimo (AO) Reciclar bajo (RB)	Abrir óptimo (AO) Reciclar óptimo (RO)	Abrir óptimo (AO) Reciclar alto (RA)
OD alto (OA)	Abrir bajo (AB) Reciclar bajo (RB)	Abrir bajo (AB) Reciclar óptimo (RO)	Abrir bajo (AB) Reciclar alto (RA)

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

Control de Válvula de aire	<i>Control de Válvula de Reciclaje de Lodo</i>
-----------------------------------	------------------------------------------------

Tabla 11

Cuadro representativo de los datos de control de OD y Temperatura; y las acciones que se ejecutan con la dosificación de aire y recirculación de lodos

	Lectura de Sensores		Acciones de Actuadores	
	Temperatura del agua	Oxígeno Disuelto	Controlador aire	Controlador reciclaje lodo
Arranque de PTAR	TB	OB	AA	RB
		OO	AO	RB
		OA	AB	RB
	TO	OB	AA	RO
		OO	AO	RO
		OA	AB	RO
	TA	OB	AA	RA
		OO	AO	RA
		OA	AB	RA

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3 Reglas control fuzzy para operar la PTAR por lodos activados

Las reglas de control fuzzy que describen las acciones a tomar con cada combinación de las variables controlables. Estas reglas son:

Regla 1: **SI** La temperatura es baja **y** el oxígeno disuelto es bajo
ENTONCES dosificar aire al máximo **y** recircular lodo en forma baja.

Regla 2: **SI** La temperatura es baja **y** el oxígeno disuelto es óptima
ENTONCES dosificar aire en forma óptima **y** recircular lodo en forma baja.

Regla 3: **SI** La temperatura es baja **y** el oxígeno disuelto es alto
ENTONCES dosificar aire en forma baja **y** recircular lodo en forma baja.

Regla 4: **SI** La temperatura es óptima **y** el oxígeno disuelto es bajo
ENTONCES dosificar aire en forma alta **y** recircular lodo en forma óptima.

Regla 5: **SI** La temperatura es óptima **y** el oxígeno disuelto es óptimo
ENTONCES dosificar aire en forma óptima **y** recircular lodo en forma óptima.

Regla 6: **SI** La temperatura es óptima **y** el oxígeno disuelto es alto
ENTONCES dosificar aire en forma baja **y** recircular lodo en
forma óptima.

Regla 7: **SI** La temperatura es alta **y** el oxígeno disuelto es bajo
ENTONCES dosificar aire en forma alta **y** recircular lodo en
forma alta.

Regla 8: **SI** La temperatura es alta **y** el oxígeno disuelto es óptimo
ENTONCES dosificar aire en forma óptima **y** recircular lodo en
forma alta.

Regla 9: **SI** La temperatura es alta **y** el oxígeno disuelto es alto
ENTONCES dosificar aire en forma baja **y** recircular lodo en
forma alta.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS DE OMO

La planta de tratamiento de aguas residuales OMO, que cuenta con lagunas facultativas: dos primarias, dos secundarias y dos terciarias, procesa 142 lps (12 300 m³/día), inició sus operaciones el 06 de agosto de 2014.

Tabla 12*Eficiencia Operativa de las lagunas facultativas de OMO - Moquegua*

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo		
		Entrada PTAR	Descarga PTAR	Remoción de contaminantes
Aceites y grasas	mg/L	61,3	1,1	98,21%
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	270,3	70,69	73,85%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	613,3	210	65,76%
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	194,9	79,95	58,98%
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	13,09	15,57	
Nitratos	NO ₃ ⁻ Nmg/L	0,03	0,316	
Oxígeno Disuelto (OD)	O ₂ mg/L	0,5	0,3	
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100m L	1 700 000	330	99,98%
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100m L	33 000 000	79 000	99,76%
pH	unid. pH	7,8	7,7	
Conductividad	µS/cm	582	721	
Temperatura	°C	22,23	22,43	

Fuente: Tabla 7

Interpretación:

La remoción del DBO₅ es de 73,85 % y la Norma Técnica Peruana S.010 exige que sea 95 %, las lagunas facultativas de la PTAR OMO, solamente alcanza una remoción de 73,85 %, razón por lo que se debe en forma urgente la ampliación de las lagunas o modificación como la que proponemos en esta tesis.

La remoción de los otros contaminantes también es baja, esto es debido a que el PR va disminuyendo como se observa en la tabla 15.

Según Sergio Rolim (2000) el agua residual contiene 0,1 % de sólidos, de esto la mitad es sedimentable, esta información lo utilizamos para elaborar la tabla 15.

Tabla 13

Proyección de la producción de lodos, Volumen útil y del periodo de retención (PR) de las lagunas facultativas de OMO - Moquegua

Año	Producción de ARU m ³ /día	Formación de lodos m ³ /año		Volumen útil Lagunas Facultativas m ³	PR días
		Producción	Acumulado		
0 2014		0		242 580,0	17,3
1 2015	11 566,8	2 082,0	2 082,0	240 498,0	17,2
2 2016	11 750,4	2 115,1	4 197,1	236 300,9	16,9
3 2017	12 283,1	2 211,0	6 408,1	229 892,8	16,4
4 2018	12 516,5	2 253,0	8 661,0	221 231,8	15,8
5 2019	12 754,3	2 295,8	10 956,8	210 275,0	15,0
6 2020	12 996,7	2 339,4	13 296,2	196 978,8	14,0
7 2021	13 243,6	2 383,8	15 680,1	181 298,7	12,9
8 2022	13 495,2	2 429,1	18 109,2	163 189,6	11,6
9 2023	13 751,6	2 475,3	20 584,5	142 605,1	10,2
10 2024	14 012,9	2 522,3	23 106,8	119 498,3	8,5

Fuente: Tabla 10
Sergio Rolim (2000)

Interpretación:

En la tabla se observa el incremento de la producción de ARU en Moquegua y la acumulación de lodos en el fondo de las lagunas facultativas por falta de mantenimiento, reducen el periodo de retención (PR) afectando en forma negativa a la remoción de los elementos contaminantes.

Comparando la eficiencia de las lagunas facultativas, en la evaluación realizada Jesús García y Jorge Garrido (1994) a una laguna de estabilización de una Planta Extractora de Monterrey determinó que la

descarga está por el orden de 130 mg de DBO5/litro; la descarga de la planta OMO tiene un promedio de 70,96 mg de DBO5/litro, lo que demuestra que las lagunas facultativas no tienen una buena remoción, por lo que es necesario modificar la PTAR OMO.

En su trabajo para optar el grado de maestro, la ingeniera Gloria Correa (2008) determinó que las lagunas de estabilización del Municipio de Santa Fe de Antioquía Colombia descargan las aguas residuales tratadas con 60,6 mg de DBO5/litro, lo que ratifica la baja eficiencia de remoción de las lagunas facultativas.

6.2 IMPACTO EN EL ECA DEL RÍO MOQUEGUA POR LA DESCARGA DEL EFLUENTE DE LA PTAR OMO

Tabla 14

Comparación de la calidad del río Moquegua contaminada por el efluente de la PTAR OMO con el ECA según el DS 015-2015-MINAM

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo		
		100 m río arriba	100 m río abajo	ECA agua de río
Aceites y grasas	mg/L	0,5	0,5	5,0
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2	21,16	10
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	10	54,75	
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	3	18,96	≤ 100
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	0,024	3,8	0,05
Nitratos	NO ₃ ⁻ Nmg/L	1,12	1,02	13
Oxígeno Disuelto (OD)	O ₂ mg/L	11,61	11,46	≥ 5
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100mL	130	170	
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	1 300	49 000	2 000
pH	unid. pH	8,5	7,96	6,5 a 9,0
Conductividad	µS/cm	26,82	1 561	1 000
Temperatura	°C	26,82	26,82	

Fuente: Tabla 9

Interpretación:

La descarga del efluente de la PTAR de OMO al Río Moquegua altera en forma negativa la calidad del agua.

Si se analiza el ECA agua, por ejemplo para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), exigido por el DS 015-2015-MINAM debe ser 10, y el río Moquegua duplica este valor a 21,16.

Lo mismo sucede con los otros contaminantes, situación que exige realizar una modificación de la PTAR OMO actual.

6.3 MODIFICACIÓN DE LA PTAR OMO, ADICIONANDO UNA PTAR POR LODOS ACTIVADOS

La PTAR actual debe ser modificada, reemplazando las lagunas de maduración por la planta de lodos activados, como se aprecia en la Figura 18.

Los componentes de una planta de lodos como son: La cámara de rejillas, desarenador y sedimentador primario serán utilizados de la actual planta.

La planta de lodos activados propuesto está diseñada para que pueda operar tratando las ARU de Moquegua, de tal forma por mantenimiento se tenga que operar sin las lagunas primarias y lagunas facultativas.

La operación de la PTAR OMO modificado garantiza un tratamiento cumpliendo con las exigencias normativas hasta el año 2030, para el incremento de ARU por el crecimiento poblacional de Moquegua, que se tendrá una producción proyectada 15 688,2 m³/día (ver tabla 10). Según diseño la planta modificada puede tratar hasta 24 600 m³/día.

Según la Figura 17, el balance de caudal de agua es igual a:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \text{ ----- (10)}$$

Donde:

Q_3 = Caudal en río abajo del río Moquegua en lps

Q_1 = Caudal en río arriba del río Moquegua en lps

Q_2 = Caudal en la descarga de la PTAR OMO en lps = 142 lps

El balance de masa del contaminante en mg será igual a
caudal* DBO_5 :

$$Q_3 * DBO_5(3) = Q_1 * DBO_5(1) + Q_2 * DBO_5(2) \text{ ----- (11)}$$

Donde:

$DBO_5(3)$ = DBO_5 río abajo del río Moquegua = 21,16 mg/l

$DBO_5(1)$ = DBO_5 río arriba del río Moquegua = 2 mg/l

$DBO_5(2)$ = DBO_5 en la descarga de la PTAR OMO = 70,69 mg/l

De las ecuaciones (8) y (9) tenemos:

$$Q_1 = Q_2 * DBO_5(2) / [(DBO_5(2) - DBO_5(3)) / (DBO_5(3) - DBO_5(1))] \text{ -----}$$

(12)

Tabla 15

Balance del contaminante DBO₅ en el río Moquegua por la descarga del efluente de la PTAR OMO

Zona de Muestreo	Denominación	CAUDAL lps	CONCENTRACION mg de DBO ₅ /l	TOTAL mg DBO ₅
PTAR OMO	Q ₂	142,00	70,69	10037,98
RIO ARRIBA	Q ₁	367,08	2	734,16
RIO ABAJO	Q ₃	509,08	21,16	10772,14

Fuente: Cálculo con las ecuaciones 10, 11 y 12

Análisis:

- 1) El caudal del río Moquegua se incrementa de 367,08 lps a 509,08 lps.
- 2) La concentración del contaminante en el efluente de la PTAR OMO de 70,69 mg DBO₅/l se diluye a 21,16 mg DBO₅/l en el río Moquegua.

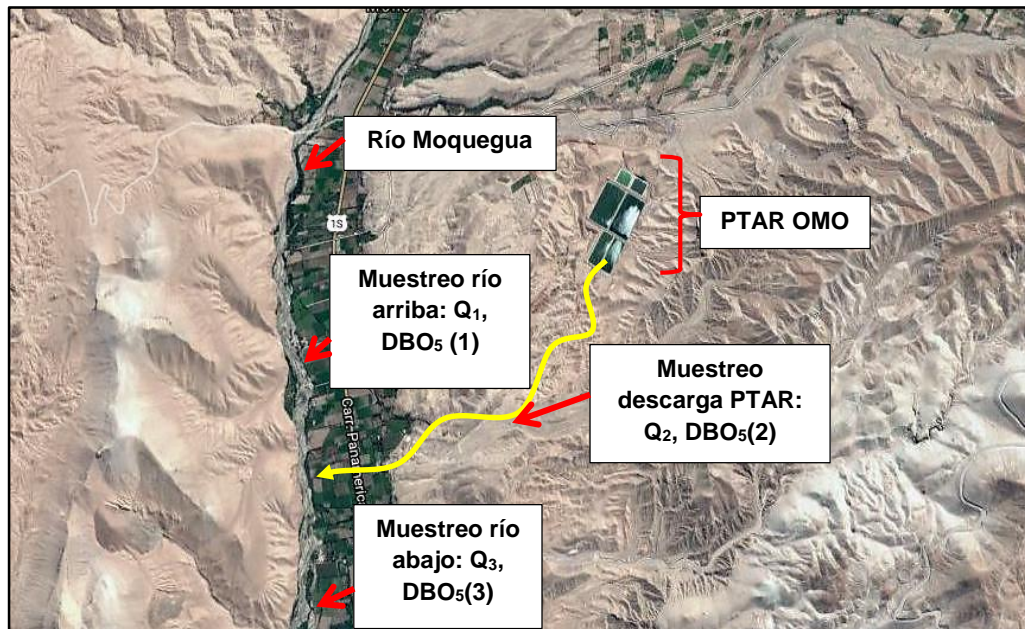


Figura 17: Puntos de monitoreo del Río Moquegua

Fuente: Figura 8 e Informe de Ensayo N° 106299-2016 – SAG - Laboratorio acreditado por INACAL.

La PTAR OMO modificada se presenta en la figura 18:

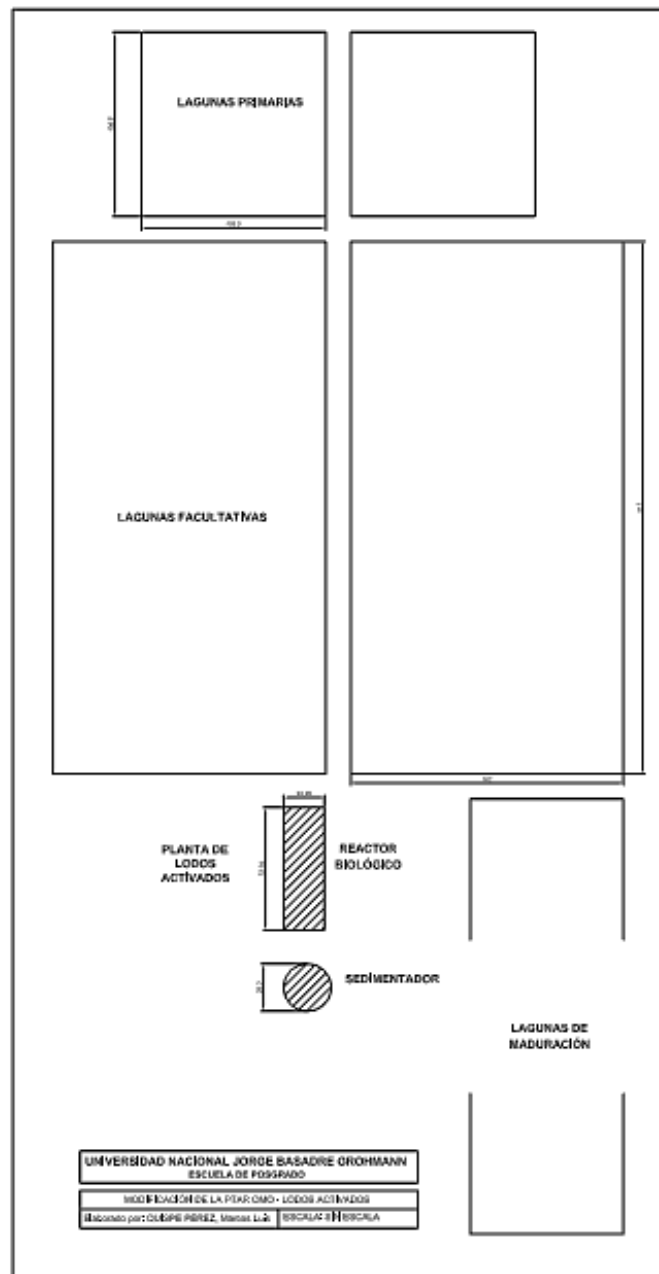


Figura 18: Propuesta de modificación de la PTAR OMO

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación (10) para determinar el balance de contaminación proyectada de la PTAR OMO modificado, se tiene:

Tabla 16

Balance del contaminante DBO₅ estimado en el río Moquegua por la descarga del efluente de la PTAR OMO modificada.

Zona de Muestreo	CAUDAL Ips	CONCENTRACION mg de DBO ₅ /l	TOTAL mg DBO ₅
PTAR OMO	142,00	13,52	1919,84
RIO ARRIBA	367,08	2	734,16
RIO ABAJO	509,08	5,21	2654,00

Fuente: Elaboración propia.

Análisis:

- 1) Se estima que la concentración del contaminante en el efluente de la PTAR OMO de 13,52 mg DBO₅/l se diluya a 5,21 mg DBO₅/l en el río Moquegua, valor que está por debajo del ECA agua, que indica el LMP es de 10 mg DBO₅/l (DS 015-2015-MINAM).
- 2) Esto justifica la modificación de la PTAR OMO.

❖ Evaluación del Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

Se determinó el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) del reactor biológico de la planta de lodos activados es igual a 17,26 horas. La norma técnica peruana, indica que el TRH debe estar entre 16 a 48 horas. Valor que valida las dimensiones del Reactor Biológico y del Sedimentador.

6.4 IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL FUZZY EN LA PTAR POR LODOS ACTIVADOS OMO

El Programa diseñado de Control Fuzzy en Symulink y la Herramienta Fuzzy de MatLab, también lo se puede emplear como un simulador.

- a) Simulación del Sensor de Oxígeno Disuelto en el Reactor Biológico:

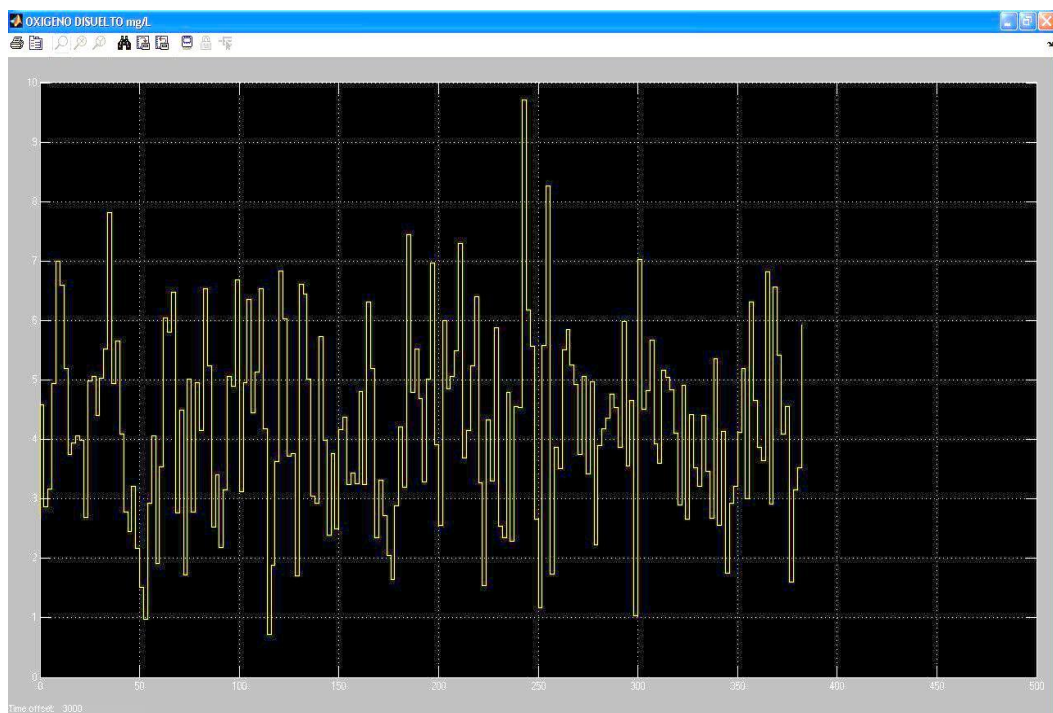


Figura 19: Simulador del Sensor de Oxígeno Disuelto con el Programa de Control Fuzzy para la planta de lodos activados - PTAR OMO

Fuente: Control Fuzzy

El programa internamente simula en forma aleatoria el comportamiento del oxígeno disuelto durante el proceso de tratamiento del ARU en el reactor, en la Figura 19 se aprecia la variabilidad del OD.

b) Simulación del Sensor de Temperatura del agua en el Reactor Biológico:

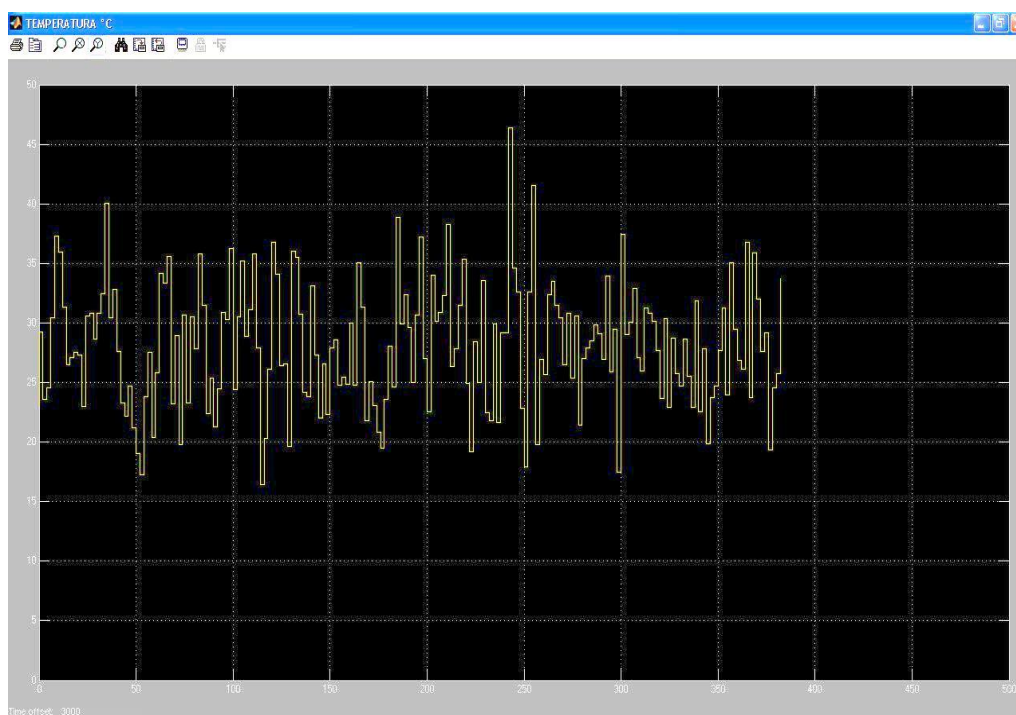


Figura 20: Simulador del Sensor de Temperatura con el Programa de Control Fuzzy para la planta de lodos activados - PTAR OMO

Fuente: Control Fuzzy

El programa también internamente simula en forma aleatoria el comportamiento de la temperatura durante el proceso de tratamiento del ARU en el reactor, en la Figura 20 se aprecia la variabilidad de la temperatura.

c) Simulación de la abertura de la válvula controladora de aire, dosificada al Reactor Biológico:

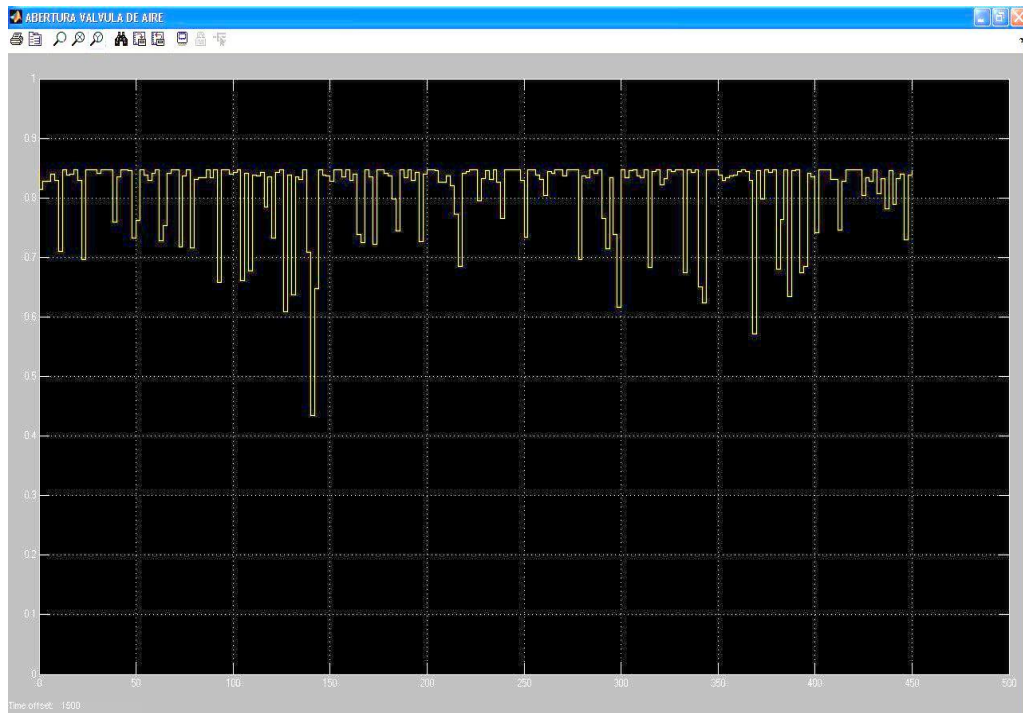


Figura 21: Simulador del regulador de la válvula de aire para la planta de lodos activados - PTAR OMO

Fuente: Control Fuzzy

El programa de control Fuzzy en función de la cantidad de OD y temperatura del agua, regula la cantidad de aire que necesita el sistema, en la Figura 21 se aprecia la respuesta que tiene el control fuzzy en la regulación de la abertura de la válvula de aire.

d) Simulación de la abertura de la válvula controladora de retorno de lodos al Reactor Biológico:

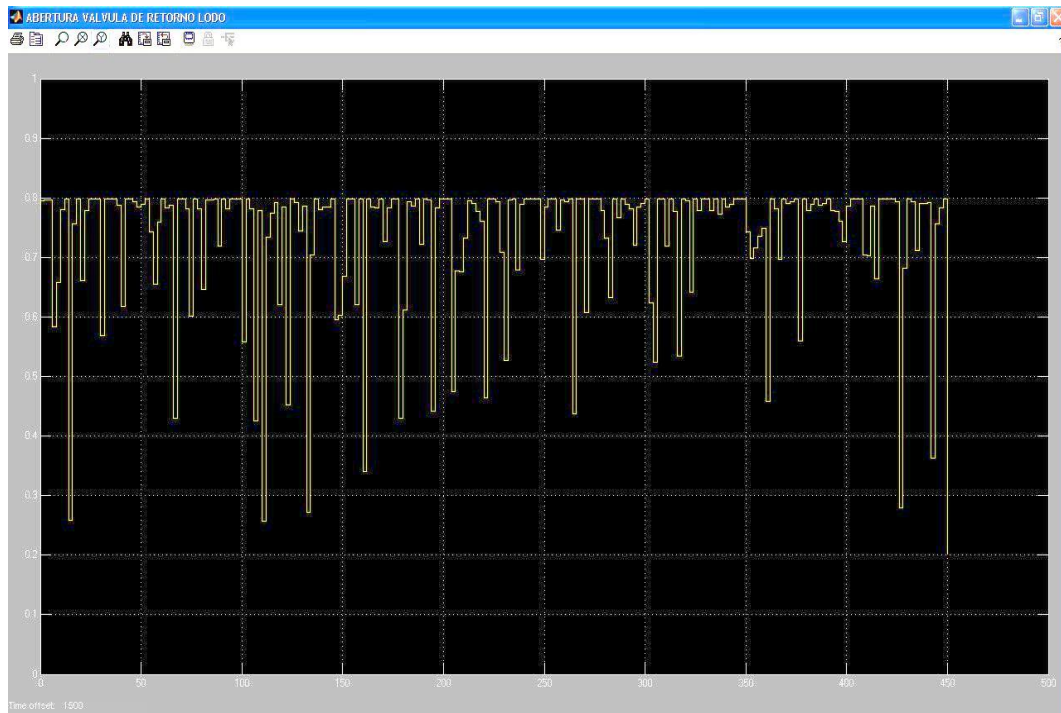


Figura 22: Simulador del regulador de la válvula de retorno de lodos para la planta de lodos activados - PTAR OMO

Fuente: Control Fuzzy

El programa de control Fuzzy en función de la cantidad de OD y temperatura del agua, regula la cantidad de lodo que debe retornar al sistema, en la Figura 22 se aprecia la respuesta que tiene el control fuzzy en la regulación de la abertura de la válvula de retorno de lodo.

- e) Comparación de resultados de control fuzzy del Reactor Biológico con otras investigaciones

En México Gilberto Vera (2002) desarrolló un control inteligente de una planta aeróbica de tratamiento de aguas residuales, quien lo desarrolló con Symulink de MatLab, siendo sus variables de control el contenido de oxígeno disuelto, cantidad de nitratos, nitritos y el clima. Y sus variables manipulables fueron la velocidad de aireación, la velocidad de flujo de recirculación interna y externa, los resultados fueron validados con los resultados de los controladores PI (Proporcional – Integral).

La respuesta que obtiene Gilberto Vera en el manejo de los flujos de recirculación y la velocidad de aireación, son similares a los obtenidos aplicando el modelo de control propuesto en esta Tesis, por lo que se valida este sistema de control propuesto.

Manga; J.; Serralta, J.; Seco, A.; y Ferrer, J. (2001), demostró que es ejecutable el control reactor de lodos activados regulando la aireación con un sistema basado en lógica difusa para una planta de lodos activados, evaluando el OD en el reactor, investigación realizada en el Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, resultados que valida el sistema de control Fuzzy que se presenta en esta investigación.

CONCLUSIONES

Primera

La demanda bioquímica de oxígeno producirá un efecto positivo en el diseño del volumen del reactor de 8 843,68 m³. Según el resultado obtenido en el cálculo del volumen del reactor (pag. 66 y 67).

Segunda

El efecto que produjo el oxígeno disuelto en el diseño de la Planta de tratamiento de aguas residuales para la regulación del aire y la recirculación del lodo, permitió automatizar las llaves de compuerta de aire y de la regulación del lodo, según las fig. 15 y fig. 16.

Tercera

El efecto que produjo la temperatura en el diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la regulación del lodo, permitió automatizar las llaves de compuerta de aire y reciclaje del lodo según las figuras: fig. 14, fig. fig. 15 y fig. 16.

Cuarta

El diseño de la modificación de la Planta de tratamiento de aguas residuales OMO de Moquegua, tendrá un efecto significativo en las operaciones de las lagunas facultativas, mejorando la calidad del agua residual tratada de 70,69 mg, DBO₅/l a 13,52 mg DBO₅/l, según Tabla 18. Descarga que existente en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de OMO Moquegua y que a través de la canalización y evacuación al río (Fig. 17) es menor que el estándar de calidad ambiental de 10 mg DBO₅/l

RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda a la EPS Moquegua modificar la PTAR OMO, con la construcción de una planta de lodos activados en reemplazo de las lagunas de maduración.

Segunda

Se recomienda a la Escuela de Posgrado de la UNJBG motivar a sus egresados a continuar con la elaboración de proyectos de investigación similares, que solucionen problemas ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achenie, L. y Sinha, M. (2003). *The design of blanket wash solvents with environmental considerations*. *Advances in Environmental Research*, 8: 213-227.
- Alarcón, E. (1998). "*Representatividad del muestreo en la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas servidas*. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, Octubre de 1999 - CHILE.
- Alarcón, E.; Sepúlveda, C; Quintero, C. (1998). *Control de calidad estadístico aplicado a la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno*. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, Octubre de 1999 - CHILE.
- Alcocer, V.; Gonzáles, A.; Arreguín, F.; Ramírez, A. (2003). *Aplicación de un modelo sistemático de uso eficiente del agua en la ciudad de Puebla, México*. Seminario Internacional de Hidroinformática de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. 283-289.
- Alonso, M.; Rojas, R.; Soto, F., Molina, A.; Cruz, M. (2002). *Aplicación del tratamiento primario avanzado (TPA) a las aguas residuales de una unidad habitacional de Santa Cruz Xoxocotlan OAX, para ser*

utilizadas en riego agrícola. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente. AIDIS. Memorias FEMISCA – México.

Arreguín, F. y Alcocer, V. (2004). *Modelación del uso eficiente del agua considerando la calidad de la misma.* Ingeniería Hidráulica en México – Julio – Septiembre (2004) 19(3): 83-102.

Barajas, M. (2002). *Eliminación Biológica de Nutrientes en un reactor biológico secuencial, caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana.* Memoria para optar el Grado de Doctora en Ciencias Biológicas, Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Béranger, S.; Sleep, B.; Sherwood, B.; Pérez, F. (2005). *Transport, biodegradation and isotopic fractionation of chlorinated ethenes: modelling and parameter estimation methods.* Advances in Water Resources Review, 28: 87-98.

Burbano, A.; Dionysiou, D.; Suidan, M.; Richardson, T. (2005). *Oxidation Kinetics and effect of pH on the degradation of MTBE with fenton reagent.* Water Research Review, 39: 107-118.

Campos, C. (2003). *Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en los diferentes sistemas de desinfección.* Hidrored.com - CYTED México.

- Campos, C. (2003). *Indicadores de contaminación fecal en aguas*. Hidrored.com - CYTED México.
- Carrasco, E.; Rodriguez, J.; Puñal, E.; Roca, E.; Lema, J. (2004). *Diagnosis of acidification status in an anaerobic wastewater treatment plant using a fuzzy-based expert system*. Control Engineering Practice. 12:1 59-64.
- Chavez, H.; Mendoza, W.; Yupanqui, A.; y otros (2004). *Diagnóstico agrario 2004 – región Tacna*. Dirección Regional Agraria – Tacna 182-264.
- Cisterna, P. y Peña, D. (1999). *Determinación de la relación DQO/DBO₅ en aguas residuales de comunas con población menor de 25 000 habitantes en la VIII Región*. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, Octubre de 1999 - CHILE.
- Clara, M.; Kreuzinger, N.; Streann, B.; Gans, O.; Kroiss, H. (2005). *The solids retention time – a suitable design parameter to evaluate the capacity of wastewater treatment plants to remove micropollutans*. Water Research Review, 39: 97-106.
- Crites, R.; Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá – Colombia.

- De Esparza, M. L. y De Zumaeta, M. (2000). *Riesgos para la Salud por el uso de Aguas Residuales en Agricultura (Aspectos Toxicológicos)*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – Perú.
- EPA – Environmental Protection Agency, Science & Technology. www.epa.gov.
- Escalante, V.; Cardoso, L.; Ramírez, E.; Moeller, G.; Mantilla, G.; Montecillos, J.; Servin, C.; Villavicencio, F. (2003). *El rehúso del agua residual tratada en México*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Universidad del Valle, Instituto CINARA, Cartagena - Colombia. 230-236.
- Escalas, Antoni (2006). *Modelación matemática de procesos biológicos de tratamiento*. Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas y su impacto en los sistemas acuáticos. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 5 de julio de 2006.
- Esteller, M. (2002). *Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura*. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, México. 2: 103-113.
- Fall, CH. (2003). *Modelación matemática de plantas de tratamiento de lodos activados*. CYTED XVII – Agua potable para comunidades

rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. CTED México 240-255.

Fernández, J.; Omil, F.; Méndez R., y Lema J. (2001). *Anaerobic Treatment of Fibreboard Manufacturing Wastewaters in a Pilot Scale Hybrid USBF Reactor*. PERGAMON PII: S0043-1354(01)00152-X. Great Britain.

Fernández, M.; Álvarez, A.; Espigares, M. (2001). “*Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A*”. Congreso de Higiene y Sanidad Ambiental. España 1: 8-18.

Foster, S.; Gale, I.; Español, I. (1994). *Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos con referencia en América Latina*. Uk Overseas Development Administration British Geological Survey; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1-82.

García, D.; Gallego, I.; Díaz, C. (2003). *Software de ayuda al diseño y concepción de la fase de pretratamiento de agua residual DPTAR® v.1*. Hidrored.com - CYTED México.

Ghaly, A.; Kamal, M.; Mahmoud, N. (2005). *Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed*. Environment International, 31: 1-13.

- Gianella, J.; Gonzales, G.; Huertas, C.; Pilco, C.; Arenas, F.; Rivera, S.; Izquierdo, R.; Polo, E. (2004). *Plan integral de Desarrollo de Tacna 2005 – 2012*. Comisión Especial de Alto Nivel creada por D.S. 030-2004-PCM y 031-2004-PCM. 1-52.
- Goonetilleke, A.; Thomas, E.; Ginn, S.; Gilbert, D. (2005). *Understanding the role of land use in urban stormwater quality management*. Journal of Environmental Management Review, 74: 31-42.
- Hadas, O.; Corradini, M.; Peleg, M. (2004). *Statistical analysis of the fluctuating counts of fecal bacteria in the water of Lake Kinneret*. Water Research, 38: 79-88.
- Huang, H. y LI, H. (2005). *Perturbation finite element method of structural análisis Ander fuzzy environments*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 18: 83-91.
- Jamshid, S.; Mahdizadeh, K.; Afshar, A. (2004). *A stochastic dynamic programming model with fuzzy storage states for reservoir operations*. Advances in Water Resources, 27: 1105-1110.
- Kaminari, N.; Ponte, M.; Ponte, H.; Neto, A. (2005). *Study of the operacional parameters envolved in desingning a particle bed reactor for the renoval of lead from industrial wastewater - central composite desing methodology*. Chemical Engineering Journal Review, 105: 111-115.

- Lazcano, L.; Ortiz, J.; Ramirez, R.; Durán, A. (2004). *Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes aguas residuales pretratadas con el método de Fenton*. Facultad de Química, Universidad Autónoma de México.
- Liu, S.S. y Liang, T.T. (2004). *Return sludge employed in enhancement of color removal in the integrally industrial wastewater treatment plant*. *Water Research*, 38: 103-110.
- López, R.; Morales, J.; Díaz, A.; Vaca, M.; Lara, A.; y Lizardí, A. (2000). *Modelado del flujo en una planta de tratamiento de agua*. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, AIDIS. Memorias Técnicas México D.F., FEMISA, 2000 p. 1-10 tomo II.
- Maldonado, L.; Carrasco, M.; Raymundo, R. (2004). *La Agricultura Urbana en Lima: Estrategia Familiar y Política de Gestión Familiar*. Reporte Final de Investigación para Agropolis, Programa Internacional de Becas de Investigación en Agricultura Urbana. Centro Internacional de la Papa (CIP) – Cosecha Urbana – Lima.
- Manga, J.; Serralta, J.; Seco, A.; Ferrer, J. (2001). *Desarrollo de un sistema de control basado en lógica difusa para la aireación en un proceso de fangos activados*. Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte, 9: 35-56. Barranquilla – Colombia.

- Mara, D. y Pearson, H. (1998). *“Desing manual for waste stabilization ponds in mediterranean countries”* .Lagoon Technology International Ltd. England.
- Márquez, A.; y Guevara, E. (2004). *Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola*. Revista Ingeniería UC. Vol. 11 núm. 2 Agosto 2004, pp. 92-101. Venezuela.
- Márquez, M.; García, A.; Ramos, J.; Márquez, C.; Baños, U. (2014). *Control predictivo usando un modelo difuso para la tasa de crecimiento bacteriano*. Research in Computing Science 73 (2014). pp. 117-128.
- Meneses, Jorge (1997). *Inteligencia Artificial en el Control de Proceso: Control Fuzzy Basado en PLC*. TECSUP – Perú.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering, treatment and Reuse*. 4rd Ed. Mc. Graw Hill Companies – Nueva Delhi.
- Moscoso, J. y Egocheaga, L. (2004). *Avances del Inventario Regional de la Situación de las Aguas Residuales Domésticas en América Latina*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Lima 2004.
- Mühleck, R.; Grangler, A.; Jekel, M. (2003): Evaluación ecológica de los conceptos de ECOSAN y sistemas convencionales de aguas

- residuales. 2º Simposio Internacional sobre Saneamiento Ecológico – Alemania. Sección H: 535-543.
- Nelson, K.; Jiménez, B.; Tchobano G.; Darby, J. (2004). “*Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico*”. *Water Research Review*, 38: 111-127.
- OMS (1989). *Medidas de protección sanitaria en el aprovechamiento de aguas residuales*. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra, OMS, 1989. 40-64. Reproducido también en REPINDEX No. 57, marzo 1996.
- Oron, G. (2002). *Agriculture, water and the environment: future challenges*. IWA Regional Symposium on Water Recycling in the Mediterranean Region, Iraklio. 1: 61-67.
- Peña, C.; y Lara, J. (2013). *Simulación de un controlador basado en el algoritmo Q-Learning en un sistema de lodos activados*. LACCEI'1013 – August 14-16-2013, Cacum, México.
- Ramalho, Rubens (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Facultad de Ciencias e Ingeniería – Universidad Laval – Quebec – Canadá. Editorial Reverté S.A.
- Rodríguez, Jenny (2012). *Evaluación del Desempeño de un Sistema de Lodos Activados en la Modalidad de Estabilización por Contacto*

Sin Clarificación Primaria Tratada Agua Residual Doméstica.
Tesis para obtener el Grado de Maestro Universidad del Valle –
Santiago de Cali.

Rolím, Sergio (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización, cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego*. Editorial McGraw Hill Interamericana – Colombia.

Romero, Jairo (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958-8060-13-3.

Sánchez, Omar (2006). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Apuntes de Clases del Curso de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales. UNSA Arequipa.

Supo, Roberto (2003). *Lógica Difusa*. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Tejada, Guillermo (2000). *Tutorial de Lógica Fuzzy*. Facultad de Ingeniería Electrónica de la UNMSM – Lima – Perú.

Vera, Gilberto (2002). *Control Inteligente de una Planta Aeróbica de Tratamiento de Aguas Residuales*. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias. CINVESTAV – IPN. Unidad Guadalajara. México.

González, Carlos (2011). *Lógica Difusa, una introducción práctica*. Acceso el 30 Julio 2017, a la Web de la Escuela Superior de Informática de la UCLM.
http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Estándares Nacionales de Calidad para Agua – DS 015-2015-MINAM

CATEGORÍA 4

		CATEGORÍA 4				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS - QUÍMICOS						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Total	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo Total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco	mg/L	1,9	1,9	1,9	0,4	0,55
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	30

Anexo 2



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Regimen I/LE-047

INFORME DE ENSAYO N° 104163-2016 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL
DOMICILIO LEGAL
SOLICITADO POR
REFERENCIA
PROCEDENCIA
FECHA DE RECEPCIÓN
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS
MUESTREO POR

: EPS MOQUEGUA S.A.
: CALLE ILO N° 653 - P.J EL SIGLO - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA
: WALTER VILLASANTE CONZA
: MONITOREO PTAR OMO
: MOQUEGUA
: 2016-06-28
: 2016-06-28
: EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Aceites y grasas (HEM)	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry, 2010	0.5 ^(a)	mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SM 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SM 5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.	10.0	O ₂ mg/L
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	SM 4500-P E. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.020	PO ₄ ⁻³ mg/L
Nitratos	SM 4500-NO ₃ B. Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method.	0.030	NO ₃ ⁻ - N mg/L
Oxígeno Disuelto OD	SM 4500-O C. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.	0.61 ^(a)	O ₂ mg/L
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3.00	mg/L
Metales totales y disueltos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silicio(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMCC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SM 9221 E. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 ^(b)	NMP/100mL
Numeración de Coliformes Totales	SM 9221 B. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	1.8 ^(b)	NMP/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

(b) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FT.022/Revisión: 06/FE-09/2015

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF 22nd. Edition: 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442
Website www.sagperu.com Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

INFORME DE ENSAYO N° 104163-2016 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua residual	Agua residual	Agua Superficial	Agua Superficial (mezcla)	
Matriz analizada	Agua residual	Agua residual	Agua Natural	Agua Natural	
Fecha de muestreo	2016-06-27	2016-06-27	2016-06-27	2016-06-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	10:20	11:00	11:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	
Código del Cliente	Ingreso PTAR omo	Salida PTAR OMO	100 m aguas arriba Río Osmore	100 m aguas abajo Río Osmore	
Código del Laboratorio	16063006	16063007	16063008	16063009	
Ensayos	Unidades	Resultados			
Aceites y grasas (HEM)	mg/L	54.1	6.6	<0.5	0.8
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	265.1	62.5	<2.00	16.04
Demanda Química de oxígeno (DQO)	O ₂ mg/L	510.7	198.4	<10.0	51.3
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	PO ₄ ⁻³ mg/L	20.233	10.613	0.047	2.708
Nitratos	NO ₃ - N mg/L	1.068	1.268	6.365	8.029
Oxígeno Disuelto OD	O ₂ mg/L	<0.61	3.68	9.79	9.44
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	150.33	92.47	3.53	17.84
Numeración de Coliformes Fecales ⁽¹⁾	NMP/100mL	33 x 10 ³	79 x 10 ³	110 x 10 ³	7.8
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	49 x 10 ³	130 x 10 ³	220 x 10 ³	33 x 10 ³

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.


Quim. Belbeth F. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Conf. F.1.02 Versión: 06/07/E-09/2015

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF 22nd Edition 2012. EPA: U.S. Environmental Protection Agency; ASTM: American Society for Testing and Materials; NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442
Website www.sagperu.com Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE-047

**INFORME DE ENSAYO N° 104163-2016
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua residual	Agua residual	Agua Superficial	Agua Superficial (mezcla)
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo			2016-06-27	2016-06-27	2016-06-27	2016-06-27
Hora de inicio de muestreo (h)			10:00	10:20	11:00	11:30
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			Ingreso PTAR omo	Salida PTAR OMO	100 m aguas arriba Río Osmore	100 m aguas abajo Río Osmore
Código del Laboratorio			16063006	16063007	16063008	16063009
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados			
Metales totales						
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	0.77	0.03	0.10	0.09
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.002	<0.001	0.006	0.003
Boro (B)	0.002	mg/L	0.598	0.669	1.504	1.326
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.108	0.080	0.102	0.097
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003	0.0008	<0.0003	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	56.09	58.56	173.72	141.52
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.006	0.003	0.002	<0.002
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	0.0011	0.0007	<0.0004	0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0148	0.0050	0.0026	0.0025
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	0.412	0.063	0.049	0.066
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	23.11	21.45	8.47	11.58
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.100	0.111	0.109	0.109
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	5.90	9.04	21.42	18.71
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	0.0649	0.0954	0.0278	0.0651
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002	<0.002	0.004	0.003
Sodio (Na)	0.02	mg/L	83.54	88.53	174.68	156.74
Niquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0019	0.0010	<0.0006	<0.0006
Fósforo (P)	0.003	mg/L	9.572	6.509	0.024	1.568
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0049	0.0041	0.0033	0.0025
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	0.018	<0.003	0.006	0.006
Silice (SiO ₂)	0.03	mg/L	70.17	79.88	81.36	82.43
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	0.362	0.389	1.257	1.049
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0098	0.0074	0.0079	0.0080
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	0.0037	0.0014	0.0118	0.0090
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.157	0.014	<0.002	<0.002

L.D.M.: Límite de detección del método

Lima, 10 de Julio del 2016

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Conf. F1.02/Revisión: 06/FE/09/2015

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012; EPA: U.S. Environmental Protection Agency; ASTM: American Society for Testing and Materials; NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 3 de 3

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 - Urb. Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | MÓVIL 994 976 442
Website www.sagperu.com Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com



OS/162252

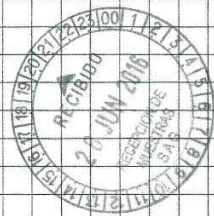
FR - 005
Versión: 04
F.E: 10/2013

CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Página.....de.....

Cliente: EPS Moquegua S.A Contacto: Ing. Walter Villasante C. E-mail: swalter2@hotmail.com Telef.(s) 953683306
 Lugar: Ciudad de Moquegua Empresa EPS Moquegua S.A Planta PTAR Omo Proyecto: _____
 Carta/Cotización: 2016-06-VI-23-1 MUESTREO POR SAG MUESTREO POR CLIENTE

PUNTO DE MUESTREO o CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS INICIALES								ANÁLISIS DE LABORATORIO		N° Informe: <u>104163-2016</u>	
	FECHA	HORA		As. No. y Gr. S.S	DROS	TSS	PO4-3	NO3	Mer. Total	DSO	C.F.	C.Total	CODIGO DE LABORATORIO		DATOS ADICIONALES
so PTAR Omo	27/06/16	10:0	Agua Residual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16063006	
la PTAR Omo	27/06/16	10:20	Agua Residual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16063007	
aguas arriba 25 m ore	27/06/16	11:00	Agua Superficial	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16063008	
aguas abajo 5 m ore	27/06/16	11:30	Agua Superficial (mezcla)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16063009	



imp 19/7/2016

Observaciones de Muestreo: San. aguas residuales domésticas crudas, en tratamiento y superficial y mezcla en el vertimiento (100 m. aguas abajo rio Os. more

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Ing. Walter Villasante Conza Firma(s): [Signature] Recibido en laboratorio: Narco
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____ Firma(s): _____ Dia/Hora: 09h

