



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental”**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PROCEDENTES DE LA QUESERA ISABEL UBICADA EN  
EL SECTOR LANGOS EL CISNE DEL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO.**

**AUTOR:**

**LUIS FELIPE GUERRA H.**

**Director**

**ING. MARIO CABRERA**

**AÑO**

**2013-2014**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA QUESERA ISABEL UBICADA EN EL SECTOR LANGOS EL CISNE DEL CANTÓN GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO, presentado por: Luis Felipe Guerra Huilca dirigida por: Ing. Mario Cabrera.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Patricia Andrade MsC.

-----

Presidente del Tribunal

Ing. Mario Cabrera

-----

Director del Proyecto

Ing. Marco Pino

-----

Miembro del Tribunal



-----  
Firma



-----  
Firma



-----  
Firma

DERECHO DE AUTOR

“La responsabilidad de contenido de este proyecto de graduación, corresponde exclusivamente a: Luis Felipe Guerra Huilca; y el patrimonio Intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Nombre: Luis Felipe Guerra Huilca.

CI. 0603883323

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis  
padres y familia por su apoyo  
en todo mi proceso educativo.

## AGRADECIMIENTO

A Dios a mis padres y a mis profesores por haberme impartido todos los conocimientos que pondré en práctica en mi vida profesional.

## INDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
A/M	Relación Alimento – Microorganismo
°C	Grado Centígrado
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COV	Carga Orgánica Volumétrica
Cs	Carga de Sólidos
h	Hora
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO <sub>e</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno del Efluente
DO	Demanda de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E	Eficiencia
g	Gramo
H	Profundidad
H <sub>2</sub> O	Agua
HP	Horse Power
IVL	Indice Volumétrico de Lodos
K <sub>d</sub>	Coefficiente Cinético
kg	Kilogramo
K <sub>la</sub>	Coefficiente de Transferencia de Oxígeno
L	Litro
l	Longitud
m	Metro

$m^2$	Metro cuadrado
$m^3$	Metro cúbico
mm	Milímetro
mg	Miligramo
$O_2$	Oxígeno Diatómico
OD	Oxígeno Disuelto
P	Potencia
$P_{abs}$	Presión Abosluta
$P_{Atm}$	Presión Atmosférica
pH	Potencial de Hidrógeno
$P_{H_2O}$	Presión Hidrostática
ppm	Partes por Millón
PVC	Cloruro de Polivinilo
$P_x$	Producción de Lodos
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Q	Caudal
$Q_{aire}$	Caudal de Aire
$Q_{aire\ real}$	Caudal de Aire real
$Q_{max}$	Caudal Máximo
$Q_{medio}$	Caudal Medio
$Q_r$	Caudal de Recirculación
$Q_w$	Tasa de Purga de Lodos
R%	Relación de Circulación
s	Segundo
Se	DBO del efluente
So	DBO del agua residual tratada
SS	Sólidos Suspendidos

SSLM	Sólidos Suspendidos en el Licor Mezcla
SSTLM	Sólidos Suspendidos Totales en el Licor Mezcla
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
SSVLM Mezcla	Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor
t	Tiempo
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
TRMC	Tiempo de Retención Media Celular
Ts	Tasa Superficial
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
U	Tasa específica de Utilización del Sustrato
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
V	Volumen
v	Velocidad
Vr	Volumen del Reactor
X	Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el tanque de aireación.
Xe	Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el efluente tratado.
Xr	Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el lodo dispuesto
X <sub>T</sub>	Concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el Licor Mezcla
XV	Biomasa del Reactor
Y	Coefficiente Cinético
$\alpha$	Relación de la Tasa de Transferencia de Oxígeno en Agua Residual a Agua Potable.

$\beta$

Relación de Concentración de Saturación de  
Oxígeno Disuelto en el Agua Residual a la del  
Agua Potable

$\rho$

Densidad

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
General:.....	5
Específicos:.....	5
CAPITULO I .....	6
1.  FUNDAMENTACION TEORICA .....	6
1.1 PRODUCCIÓN DE QUESO .....	6
1.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR INDUSTRIAS LÁCTEAS.....	7
1.2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	7
1.2.2 RESIDUOS SÓLIDOS .....	8
1.2.3 RESIDUOS TÓXICOS O PELIGROSOS .....	9
1.2.4 EFLUENTES LÍQUIDOS .....	9
1.3 SUERO DE LECHE .....	9
1.3.1 CLASES DE SUEROS LÍQUIDOS.....	10
1.3.1.1 LACTOSUERO DULCE .....	11
1.3.1.2 LACTOSUERO ÁCIDO .....	11
1.4 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	11
1.4.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS:.....	11
1.4.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: .....	12
1.4.3 AGUAS RESIDUALES URBANAS: .....	12
1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	12
1.5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	12
1.5.1.1 TEMPERATURA:.....	12
1.5.1.2 OLORES: .....	13
1.5.1.3 DENSIDAD: .....	13
1.5.1.4 COLOR: .....	14
1.5.1.5 TURBIEDAD: .....	14
1.5.1.6 SÓLIDOS: .....	15
1.5.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	16

1.5.2.1 MATERIA ORGÁNICA:.....	16
1.5.2.2 HIDRATOS DE CARBONO:.....	16
1.5.2.3 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO):.....	17
1.5.2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO): .....	17
1.5.2.5 Oxígeno disuelto (OD):.....	17
1.5.2.6 GRASAS Y ACEITES:.....	18
1.5.2.7 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH):.....	19
1.5.2.8 DETERGENTES: .....	19
1.5.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	19
1.5.3.1 MICROORGANISMOS PATÓGENOS:.....	19
1.5.3.2 BACTERIAS:.....	20
1.5.3.3 VIRUS:.....	20
1.5.3.4 PROTOZOARIOS: .....	20
1.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	21
1.6.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS.....	21
1.6.2 TRATAMIENTOS PRELIMINARES: .....	21
1.6.2.1 REJAS:.....	21
1.6.2.2 MICROFILTRACIÓN:.....	22
1.6.3 TRATAMIENTOS PRIMARIOS:.....	22
1.6.3.1 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA: .....	23
1.6.3.2 PRECIPITACIÓN QUÍMICA – COAGULACIÓN: .....	23
1.6.4 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS:.....	23
1.6.4.1 LODOS ACTIVADOS: .....	24
1.6.4.2 BIODISCO:.....	25
1.6.4.3 LAGUNAJE: .....	25
1.6.4.4 FILTRO BIOLÓGICO:.....	25
1.6.4.5 TRATAMIENTOS TERCIARIOS: .....	26
1.7 TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS.....	26
1.7.1 FUNCIONAMIENTO .....	27
1.7.2 PRINCIPIOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.....	28
1.7.2.1 INSTALACIÓN TÍPICA .....	28

1.7.2.2 OPERACIONES BÁSICAS.....	28
1.8 PARÁMETROS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS .....	29
1.8.1 PARÁMETROS OPERACIONALES.....	29
1.8.2 CARGA MÁSCA: .....	29
1.8.3 EDAD DEL FANGO: .....	30
1.8.4 CARGA VOLUMÉTRICA: .....	30
1.8.5 RENDIMIENTO EN LA DEPURACIÓN:.....	31
1.8.6 PARÁMETROS DE CONTROL.....	31
1.8.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES BRUTAS .....	32
1.8.8 CALIDAD EXIGIDA AL EFLUENTE.....	32
1.9 TIPOS DE LODOS ACTIVADOS.....	33
1.9.1 CONVENCIONAL.....	33
1.9.2 DE MEZCLA COMPLETA.....	33
1.9.3 LODOS DE AIREACIÓN PROLONGADA O EXTENDIDA.....	34
1.10 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS PARA AGUAS RESIDUALES. ....	34
1.10.1 CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA Y DIGESTIÓN ANAERÓBICA. ....	35
1.10.2 SISTEMA DE AIREACIÓN .....	35
1.10.3 LODOS DE FLUJO PISTÓN .....	35
1.10.4 MICROORGANISMOS EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVOS.....	35
1.11 MICROORGANISMOS FRECUENTES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS .....	37
1.12 REQUISITOS NUTRICIONALES DE LOS MICROORGANISMOS .....	38
1.13 SISTEMAS DE AIREACIÓN .....	39
1.13.1 DIFUSORES DE AIRE.....	40
1.13.2 AIREADORES MECÁNICOS.....	41
1.14 PARÁMETROS DE DISEÑO Y FORMULAS EMPLEADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS. ....	44
1.14.1 PARÁMETROS TÍPICOS PARA DISEÑAR PLANTA DE TRATAMIENTO CON REACTORES DE LODOS ACTIVADOS. ....	44
1.14.2 VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES CINÉTICOS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.....	45
CAPITULO II.....	53
2. METODOLOGÍA.....	53

2.1 TIPO DE ESTUDIO .....	53
2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	53
2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	54
2.4 PROCEDIMIENTOS.....	56
2.4.1 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.....	57
2.4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	58
2.4.3 TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO Y PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO. ....	59
2.4.4 PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	60
2.4.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	63
2.4.6 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR.....	64
2.4.7 CÁLCULOS DE DISEÑO REAL DEL TANQUE AIREADOR .....	65
2.4.8 CÁLCULOS DEL PROTOTIPO.....	73
2.4.9 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL TANQUE SEDIMENTADOR.....	79
2.4.10 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA .....	80
2.4.11 PRUEBAS DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO.....	83
2.4.12 PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO .....	83
2.4.13 PARÁMETROS CONTROLADOS IN-SITU PARA LA CORRECTA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. ....	85
2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	86
CAPITULO III .....	96
3. RESULTADOS .....	96
3.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL ANTES DEL TRATAMIENTO. .....	96
3.2 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE DISEÑO DEL AIREADOR A ESCALA REAL .....	97
3.3 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	98
3.4 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DURANTE EL TRATAMIENTO.....	100
CAPITULO IV .....	102
4. DISCUSIÓN .....	102
CAPITULO V .....	105
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105

5.1	CONCLUSIONES .....	105
5.2	RECOMENDACIONES.....	108
	CAPITULO VI.....	109
6.	PROPUESTA.....	109
6.1	TÍTULO DE LA PROPUESTA .....	109
6.2	INTRODUCCIÓN.....	109
6.3	OBJETIVOS.....	110
6.4	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	110
6.4.1	TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS.....	110
6.4.2	PRINCIPIOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.....	111
6.4.2.1	INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	111
6.4.2.2	OPERACIONES BÁSICAS.....	112
6.5	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	113
6.5.1	FUNCIONAMIENTO .....	113
6.5.2	CÁLCULOS DE DISEÑO REAL.....	114
6.5.2.1	TANQUE HOMOGENEIZADOR.....	114
6.5.2.2	TANQUE BIOREACTOR .....	114
6.5.2.3	TANQUE SEDIMENTADOR.....	115
6.5.3	CALCULO DE DIFUSORES.....	116
6.5.4	DISEÑO GRAFICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO .....	117
6.6	ANÁLISIS DE COSTOS PERTENECIENTES AL AÑO 2015.....	118
6.7	DISEÑO ORGANIZACIONAL .....	120
6.8	MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	120
	CAPÍTULO VII.....	122
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	122
	CAPITULO VIII .....	125
	ANEXOS .....	125
	Anexo 1. Análisis de laboratorio de las aguas crudas procedentes de la quesera Isabel. ....	126
	Anexo 2. Análisis de solidos después de realizar pruebas de tratabilidad. ....	128
	Anexo 3. Análisis de DQO y DBO después de realizar pruebas de tratabilidad.....	130

Anexo 4. Análisis de DQO y DBO de los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales de queseras.....	132
Anexo 5. Análisis de DQO del agua tratada con 12 horas de aireación.....	134
Anexo 6. Análisis de DQO del agua tratada con 24 horas de aireación.....	136
Anexo 7. Análisis de DQO del agua tratada con 48 horas de aireación.....	138
Anexo 8. Análisis de DQO del agua tratada con 24 horas de aireación con recirculación de lodos.....	140
Anexo 9. Análisis de DQO, DBO y Solidos del agua tratada con 72 horas de aireación con recirculación de lodos.....	142
Anexo 10. Análisis de grasas y aceites del agua tratada con 72 horas de aireación con recirculación de lodos.....	144
Anexo 11. Planos del prototipo en auto CAD.....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del proceso de lodos activados .....	27
Figura 2: Proceso de tratamiento por lodos activados .....	33
Figura 3: Microorganismos presentes en el proceso de lodos activados. ....	38
Figura 4: Sistemas de difusión: a) de burbuja fina y b) de burbuja gruesa.....	40
Figura 5: Aireador mecánico de superficie, fijo sobre plataforma de baja velocidad. ....	42
Figura 6: Zonas de funcionamiento de un aireador mecánico. ....	43
Figura 7: Patio de la quesera Isabel .....	57
Figura 8: Disposición final de las aguas residuales de la fábrica.....	57
Figura 9: Viales de alto rango para DQO y análisis de sólidos sedimentables.....	58
Figura 10: Descarga y tamizado del suero de leche.....	58
Figura 11: Cuba de aireación para pruebas de tratabilidad de aguas residuales. ....	60
Figura 12: Aireación y homogenización de las aguas residuales procedentes de la quesera Isabel. ....	60
Figura 13: Lectura del primer valor de DQO en el espectrofotómetro DR 2000. ....	61
Figura 14: Caracterización de sólidos sedimentables. ....	62
Figura 15: Prototipo de la planta de tratamiento de lodos activados. ....	63
Figura 16: Dibujo del prototipo en Auto CAD. ....	81
Figura 17: Planta de Tratamiento. ....	117
Figura 18: Bidones para recolección de muestras de aguas residuales de la quesera Isabel. ....	148
Figura 19: Aireación en el prototipo con dos compresores JAC. ....	148
Figura 20: Determinación del DBO .....	149
Figura 21: Determinación de Sólidos Totales. ....	149
Figura 22: Equipo multiparametros para la medición de pH, OD y Tº .....	150
Figura 23: pH controlado y estabilizado. ....	150
Figura 24: Temperatura estabilizada en 20º C.....	150
Figura 25: Aumento del Oxígeno Disuelto. ....	151

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición media del suero de leche .....	10
Cuadro 2: Parámetros típicos para diseñar planta de tratamiento con reactores de lodos activados. ....	44
Cuadro 3: Valores típicos de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados .....	45
Cuadro 4: Operacionalización de la variable dependiente .....	55
Cuadro 5: Operacionalización de la variable independiente .....	55
Cuadro 6: Diagrama de producción del queso.....	56
Cuadro 7: Técnicas y metodologías de ensayo y parámetros físico químicos analizados en el laboratorio. ....	59
Cuadro 8: Resultados de DQO y DBO en las pruebas de tratabilidad.....	61
Cuadro 9: Resultados de sólidos en las pruebas de tratabilidad. ....	62
Cuadro 10: Estadística de caudales para el diseño del tanque homogeneizador. ....	64
Cuadro 11: Cuadro comparativo del agua cruda y el agua tratada. ....	85
Cuadro 12: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad reducción del DQO .....	86
Cuadro 13: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad reducción del DBO.....	87
Cuadro 14: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Totales. ....	87
Cuadro 15: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Suspendedos. ...	88
Cuadro 16: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Sedimentables. ....	88
Cuadro 17: Reducción del DQO en el primer tratamiento del agua cruda en el prototipo....	89
Cuadro 18: Reducción del DQO en el segundo tratamiento del agua cruda en el prototipo. ....	89
Cuadro 19: Reducción del DQO en el tercer tratamiento del agua cruda en el prototipo .....	90
Cuadro 20: Reducción del DQO en el cuarto tratamiento del agua cruda en el prototipo ....	90
Cuadro 21: Reducción del DQO en el quinto tratamiento del agua cruda en el prototipo ....	91
Cuadro 22: Reducción del DBO con 72 horas de tratamiento del agua cruda en el prototipo .....	92
Cuadro 23: Reducción de Sólidos Totales con 72 horas de aireación.....	93
Cuadro 24: Reducción de Sólidos Suspendedos con 72 horas de aireación.....	93
Cuadro 25: Reducción de Sólidos Sedimentables con 72 horas de aireación. ....	94
Cuadro 26: Variación del pH con adición de óxido de calcio. ....	95
Cuadro 27: Variación de oxígeno disuelto en 2 horas de aireación. ....	95
Cuadro 28: Resultados de la caracterización del agua residual antes del tratamiento.....	96

Cuadro 29: Resultados de los cálculos de diseño del aireador a escala real .....	98
Cuadro 30: Resultados de los cálculos de diseño del tanque homogeneizador.....	98
Cuadro 31: Resultados de los cálculos de diseño del tanque aireador del prototipo. ....	99
Cuadro 32: Resultados de los cálculos de diseño del tanque sedimentador. ....	99
Cuadro 33: Resultados de los parámetros durante el tratamiento .....	100
Cuadro 34: Resultado de la reducción del DBO .....	100
Cuadro 35: Resultados de la reducción de sólidos. ....	101
Cuadro 36: Parámetros controlados en el laboratorio para el correcto desarrollo de los microorganismos .....	101
Cuadro 37: Cuadro comparativo del agua tratada con los parámetros permisibles establecidos por el TULSMA. ....	103

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizado en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Chimborazo es el diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activos para depurar aguas provenientes de la fabricación de quesos.

Este estudio es cuasi experimental, aplicado y de campo inductivo deductivo que consistió en la revisión de diversa bibliografía, para el diseño del prototipo, la toma de las muestras se las realizó en el sector Langos el Cisne del Cantón Guano utilizando muestreo puntual, siendo este tomado directamente en la descarga de aguas residuales de la fabrica, para la posterior caracterización de las aguas residuales, seguido de los cálculos, construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento.

Para la construcción del prototipo se empleó vidrio de 6 y de 8 láminas de espesor, las dimensiones de los tanques según los cálculos realizados fueron: Tanque homogeneizador (0.50m x 0.50m x 0.50m), Tanque aireador (1m x 0.50m x 0.50m) Tanque sedimentador (0.80m x 0.40m x 0.40m en la altura 1 x 0.60m en la altura 2).

El tratamiento inició empleando varios tiempos de retención hidráulica de 12 , 24 , 48 , 72 horas y con recirculación de lodos obteniendo menor tiempo de depuración.

Como resultado del tratamiento se logró una reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 21600 mg/lit hasta llegar a un valor de 59 mg/lit (ver anexo 9).

Como resultado del tratamiento se determinó que la planta trabajó con una eficiencia del 99.7 % en la remoción del DBO, ya que siempre se controló estrictamente los parámetros de pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, suspendidos y volátiles para garantizar un adecuado tratamiento y reducir la Demanda Biológica de Oxígeno que es el mayor indicador de contaminación en las aguas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CENTRO DE IDIOMAS



Lic. Fernanda Castillo Llamuca

01 de mayo del 2015

SUMMARY

The present research project, made in the faculty of Environmental Engineering of the Universidad Nacional de Chimborazo, is the design, construction and the start up of a wastewater treatment plant prototype by active sludge in order to purify water that comes from the cheese production.

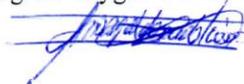
This research is quasiexperimental, applied and deductive inductive field which consisted in the review of various bibliography to the design of the prototype, the taking of samples were made in Langos el Cisne of Guano canton, using punctual sampling, this was directly taken in the discharge of wastewater from the factory, for further characterization of this wastewater, followed of the calculations, construction and the start up of the treatment plant

For the prototype's construction, glass of 6 and 8 sheets of thickness were used, the dimensions of the tanks according to the calculations were: Homogenizer tank (0.50m x 0.50m x 0.50m), Aerator tank (1m x 0.50m x 0.50m), Sedimentation tank (0.80m x 0.40m x 0.40m; in height 1 x 0.60m in height 2).

Like result of the treatment we obtained the reduced of the damage Oxigene Biologic (DBO) OF 21600MG/lit until begin to 59mg/lit ( look the anexe).

Treatment started using several hydraulic retention times of 12, 24, 48, 72 hours and sludge recirculation getting less time debugging. As a result of treatment, it as achieved a reduction of Biological Oxygen Demand ( BOD ) of 21600 mg / lit up to a value of 59 mg / lit ( see Annex 9).

As a result of the treatment it was determined that the plant worked with an efficiency of 99.7 % for BOD removal, all the time parameters like, pH, temperature, dissolved oxygen, settling solids were strictly controlled, volatile and suspended to ensure proper treatment and reduce biological oxygen demand which is the biggest indicator of pollution in the water.


## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación es la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

Los tratamientos biológicos para la depuración de aguas residuales han probado ser eficientes ya que la acción de los microorganismos presentes en el agua es la de metabolizar la materia orgánica hasta transformarla en materia suspendida en tejido celular nuevo y diferentes gases, este proceso también es conocido como transferencia de contaminación ya que los contaminantes del agua son transferidos a los lodos formados en los tanques aireadores.

Al hablar de tanques aireadores, el oxígeno es el que desempeña el papel primordial en este tipo de tratamiento ya que la ausencia o presencia de este condiciona a los microorganismos que se encargarán de degradar la materia orgánica que se encuentra en el agua residual

Los lodos activados se consideran como un método de tratamiento biológico aerobio en suspensión, ya que la producción de una masa activada de microorganismos contenidos en un reactor son capaces de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio.

Las aguas residuales tanto domésticas como industriales poseen una gran variedad de microorganismos que son capaces de remover materias orgánicas, patógenas y

nutrientes como (Nitrógeno y Fósforo), el empleo del tratamiento por lodos activados es una de las mejores alternativas para su depuración.

Este tratamiento se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden ser colocados ya sea en el lecho de los tanques o en la superficie del mismo. Mediante cálculos se hace transcurrir un periodo determinado de tiempo de la mezcla líquida, aguas residuales con flocs biológicos en suspensión, es separada en un sedimentador y parte de las células sedimentadas se recirculan con el fin de mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se expulsa del sistema y se descarga el efluente clarificado.

Es conveniente construir modelos a escala de laboratorio con la finalidad de obtener parámetros reales y no teóricos tanto para el diseño como para la operación de los sistemas de tratamiento a escala real, ya que generalmente las plantas a escala mayor presentan problemas de operación y funcionamiento como consecuencia de diseños inapropiados basados en parámetros que no corresponden a las características físico-químicas del efluente, así como a las condiciones ambientales del lugar en donde se genera el mismo.

Los prototipos en la actualidad son utilizados para el diseño de sistemas de tratamiento a escala real, ya que a través de estos se puede evaluar varios parámetros con facilidad como es la velocidad a la cual los microorganismos consumen la materia orgánica presente en el agua cruda, así como cada uno de los parámetros necesarios para controlar el correcto funcionamiento de la planta.

## **OBJETIVOS.**

### **General:**

Diseñar un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la quesera Isabel del Cantón Guano Provincia de Chimborazo.

### **Específicos:**

- Caracterizar el agua residual que procede de la quesera Isabel y comparar los datos obtenidos con los parámetros permisibles que establece la ley en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA) para descargas en alcantarillas.
- Determinar los diferentes métodos de depuración para aguas que proceden de industrias lácteas mediante ensayos de tratabilidad en el laboratorio.
- Construir el prototipo de planta de tratamiento y probar su efectividad.
- Comprobar los parámetros de operación en el prototipo mediante análisis físico químico del agua tratada.

# CAPITULO I

## 1. FUNDAMENTACION TEORICA

### 1.1 PRODUCCIÓN DE QUESO

Los tipos de queso existentes en los mercados son muy numerosos como sus métodos de preparación para obtener las diferentes variedades conocidas.

Los efluentes que más contaminación provocan las industrias queseras son los sueros, los cuales contienen gran cantidad de lactosa y las proteínas del suero lácteo. No es aconsejable que estos sueros no sean vertidos de forma directa al cauce o a la depuradora, pues provocarían un enorme incremento de la DBO. Por ello, suele aprovecharse este suero para la alimentación del ganado. En las plantas más modernas se obtiene a partir de él lactosuero, proteínas del suero lácteo y lactosa en polvo, productos con un alto valor añadido y de fácil venta posterior.

El proceso de salado también provoca la emisión de efluentes líquidos, aunque en este caso con escasa materia orgánica y gran cantidad de sales.

El agua residual es un tipo de agua que está contaminada con sustancias orgánicas e inorgánicas, procedentes de desechos humanos o animales y de procesos industriales. Su importancia es tal que estas aguas requieren sistemas de canalización, tratamiento primario, secundario, terciario para su posterior desalojo.

El tratamiento nulo o indebido de las aguas residuales procedentes de la fabricación de queso genera graves problemas de contaminación tanto en suelos como en lechos de agua ya sea superficial o subterránea, y también provoca malos olores si se dispone el agua residual en lugares donde esta se estanca pudiendo aparecer vectores como ratas y mosquitos.

## **1.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR INDUSTRIAS LÁCTEAS**

Las industrias que están relacionadas con los sectores productores de queso son muy extensas y variadas, tanto como los productos derivados de lácteos que se encuentran presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que será muy específica del tipo de industria de que se trate.

Como en cualquier tipo de industria, la contaminación generada puede dividirse en los siguientes apartados:

- Contaminación atmosférica.
- Residuos sólidos.
- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Efluentes líquidos.

### **1.2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

La contaminación atmosférica por parte de una industria láctea es proveniente de sus generadores de vapor, que habitualmente son calderas que trabajan a baja presión, con una generación de vapor inferior a las 20 Tm/hora y que usan combustibles como el fuel oíl y el gas oíl. Según la Ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico, a las industrias que posean este tipo de instalaciones se las encuadra dentro un grupo C, que es el que corresponde a las industrias que menos contaminan la atmosfera.

El decreto sobre contaminación atmosférica cita los niveles máximos de emisión que deben cumplir este tipo de instalaciones. En concreto, para generadores de vapor que usen fuel oíl nº 1 como combustible, dichos niveles son los siguientes:

- SO: 4200 mg/m<sup>3</sup> N

- CO: 1445 ppm.

- Índice de opacidad:

SÍ el funcionamiento y ajuste de las calderas es correcto, dichos niveles no son superables.

### **1.2.2 RESIDUOS SÓLIDOS**

La generación de residuos sólidos en las industrias lácteas es muy pequeña, y son generalmente a los desechos de envases y embalajes, tales como vidrio, cartón, plástico, envases especiales (tipo tetra-pak). El problema es más importante para el consumidor final, que es el que dispone de los envases, que para la propia industria.

Estos residuos se los conoce como residuos sólidos urbanos y pueden ser tratados en las mismas plantas de tratamiento de los residuos municipales, los sistemas ideales de eliminación son el reciclado o reutilización, mediante sistemas de recogida selectiva.

Los envases de plástico también podrían ser reciclados, si bien la carestía del proceso impide su desarrollo. Por último, los envases especiales tipo tetra-brik, tienen grandes dificultades para su reciclado, pues su composición mixta cartón-aluminio hacen que el proceso de separación de sus componentes sea muy complicado.

Hoy en día existen muchos proyectos de directivas a nivel mundial que intentan estimular la recogida selectiva y el reciclado de envases, bien mediante acuerdos voluntarios entre los grandes fabricantes mundiales de envases y la Administración o bien imponiendo a aquellos la participación activa, en un futuro no muy lejano, en su recuperación y reciclado. También hay la posibilidad de aplicar eco- envases sobre aquellos envases cuyo reciclado sea más difícil y costoso. No obstante, todos estos proyectos son en estos momentos de muy difícil aplicación y siguen siendo objeto de discusión.

### **1.2.3 RESIDUOS TÓXICOS O PELIGROSOS**

La generación de residuos tóxicos y peligrosos por parte de la industria láctea es prácticamente nula. Tan sólo se les puede aplicar este concepto a determinados fluidos como son los refrigerantes de transformadores eléctricos, fluidos refrigerantes, aceites usados y residuos de Laboratorios.

Estos residuos no pueden ser evacuados de cualquier forma y deben ser entregados al acabar su periodo de uso a un Gestor de Residuos legalmente autorizado para que se encargue de su eliminación.

### **1.2.4 EFLUENTES LÍQUIDOS**

En la mayoría de industrias lecheras se producen diariamente considerables cantidades de aguas residuales, que suele oscilar entre 4 y 10 lt de agua por cada 1 de leche tratada, según el tipo de planta. La mayor parte de estas aguas proceden de la limpieza de aparatos, máquinas y salas de tratamiento, por lo que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc.), aunque también se vierten aguas de refrigeración que, si no se recuperan de forma adecuada, pueden suponer hasta 2-3 veces la cantidad de leche que entra en la central.

## **1.3 SUERO DE LECHE**

El suero de leche es un líquido que se obtiene del proceso de fabricación del queso y de la caseína, después de la separación de la cuajada o fase micelar. Sus características corresponden a un líquido fluido, de color verdoso amarillento, turbio, de sabor fresco, débilmente dulce, de carácter ácido, con un contenido de nutrientes o extracto seco del 5,5 % a los 7 % provenientes de la leche.

### COMPOSICIÓN MEDIA DEL SUERO DE LECHE

Propiedad	Lactosuero dulce	Lactosuero ácido
pH	6,4 - 6,6	4,4 - 4,5
Materia seca	70	66
Lactosa	51	42
Proteínas	6 - 7	6 - 7
Materia grasa	0,2	1,0
Materias minerales	4 - 5	7 - 8
Calcio	0,45	1,05
Fósforo	0,4	0,8
Ácido láctico	0	10

**Cuadro 1: Composición media del suero de leche**  
**Fuente: Modler H.W. (1987). Boletín FIL n.º 212, 11-124**

#### 1.3.1 CLASES DE SUEROS LÍQUIDOS

Existen dos clases de suero: el dulce, el ácido o amargo los cuales dependen de los métodos empleados para la coagulación de la leche en el proceso de elaboración del queso.

### **1.3.1.1 LACTOSUERO DULCE**

Procede de la coagulación enzimática por uso de enzima coagulante. La precipitación de las proteínas se produce por hidrólisis específica de la caseína. Por lo tanto el pH es próximo al de la leche inicial y no hay variación de la composición mineral. El suero dulce es el más empleado por la industria y tiene una composición química más estable, lo que permite estimar los valores medios de composición. (L,J Villena, 1995).

### **1.3.1.2 LACTOSUERO ÁCIDO**

Procede de una coagulación ácida o láctica de la caseína, presentando un pH próximo a 4,5. Se produce al alcanzar el punto isoelectrico de la caseína con anulación de las cargas eléctricas que las mantienen separadas por las fuerzas de repulsión que generan, impidiendo la floculación. Conlleva una total desmineralización de la micela y la destrucción de la estructura micelar.

Es un suero muy mineralizado pues contiene más del 80 % de los minerales de la leche de partida. En éste, el ácido láctico secuestra el calcio del complejo de paracaseinato cálcico, produciendo lactato cálcico.

## **1.4 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES**

### **1.4.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS:**

Este tipo de aguas son producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable en los hogares como: lavado de vajilla, duchas, lavatorios, servicios higiénicos y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco dependiendo nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.

### **1.4.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES:**

La calidad de este tipo de aguas es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para determinar el nivel de contaminación de cada industria.

### **1.4.3 AGUAS RESIDUALES URBANAS:**

Estas aguas son una mezcla de aguas residuales industriales, domésticas y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas casi siempre se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta **EDAR** (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realizan el vertido de sus aguas residuales a una red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas antes de la descarga. (Modler H.W, 1987 p. 11-124).

## **1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

### **1.5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

#### **1.5.1.1 TEMPERATURA:**

La temperatura de un agua residual en muchas ocasiones suele ser más elevada que el agua que utilizan de suministro, debido a la incorporación de aguas de diversas fuentes o de diferentes usos en el caso de aguas industriales las cuales son más calientes. Cuando la temperatura de las aguas residuales se ha incrementado de forma anormal se da una proliferación de plantas acuáticas y hongos. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

Cuando el agua presenta elevada de temperatura la vida acuática se afecta ya que la concentración de oxígeno disuelto baja, y la velocidad de las reacciones químicas así como la actividad bacteriana se modifican. Mientras que la tasa de sedimentación de

sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías ocasionado por el cambio de viscosidad. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

El desarrollo de la vida bacteriana es óptimo a temperaturas entre 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza los 50°C y cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5°C las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de operar. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

#### **1.5.1.2 OLORES:**

En un agua residual los malos olores se producen debido a la descomposición de la materia orgánica y a los gases que son liberados producto de esta descomposición. Las aguas residuales que son descargadas recientemente tienen un olor propio, a pesar de que algunas aguas tienen olores desagradables, pero aun así resulta más tolerable que el olor del agua residual séptica. En el agua residual séptica, la acción de microorganismos anaerobios, los cuales producen sulfuro de hidrógeno dan el olor propio a la misma, esto ocurre cuando los sulfatos se reducen a sulfitos.

En muchas ocasiones al realizar la instalación de un EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales), se presenta un gran inconveniente ya que genera el rechazo por parte de poblaciones cercanas debido a los malos olores que se generan en la depuración.

#### **1.5.1.3 DENSIDAD:**

La densidad de un agua residual es igual a su masa por unidad de volumen expresada en  $\text{kg/m}^3$ . De la densidad depende la potencial formación de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento por lo que es una característica física importante. Generalmente la densidad de un agua residual doméstica que no presenta cantidades grandes de residuos industriales es la misma que la del agua limpia a la misma temperatura. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

#### **1.5.1.4 COLOR:**

En un agua residual las causas más comunes que dan una coloración característica a las aguas residuales son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; así como también la presencia de desechos orgánicos, en diferentes estados de desintegración, y también algunos residuos industriales. El efecto de las partículas que se encuentran cargadas negativamente en el agua es lo que le da su color natural; y su remoción se puede conseguir utilizando un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Aluminio o el Hierro.

El agua presenta dos tipos de color: el color de la muestra tratada una vez que se ha removido su turbidez que se conoce como color verdadero, y el color que incluye las sustancias que se encuentran en solución, coloidales y también el color debido al material suspendido se conoce como color aparente, éste se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa.

El color gris es característico de un agua residual que ha sido recientemente generada, pero éste color cambia a gris oscuro y finalmente a negro al aumentar el tiempo de generación, esto se da dentro de los sistemas de alcantarillado al producirse condiciones cercanas a las anaerobias por la descomposición de materia orgánica.

Cuando se forman sulfuros metálicos provocan que las aguas residuales sépticas presenten un color negro. El color en las aguas residuales industriales es un indicador de su contaminación, de igual manera muestra si los procesos que se sigue en su tratamiento son correctos o presentan algún deterioro. Las aguas industriales que presentan colores fuertes son las provenientes de la industria de textiles y los de pulpa de papel.

#### **1.5.1.5 TURBIEDAD:**

Es una propiedad física que determina la transmisión de la luz en el agua. Este parámetro se lo mide llevando a cabo una comparación entre la intensidad de luz disipada en la muestra de agua y la registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

Constituye una medida visual del material que se encuentra suspendido en las aguas residuales a ser analizadas. Las aguas residuales generalmente son turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante para el control de calidad.

#### **1.5.1.6 SÓLIDOS:**

- **Sólidos totales.** Después de un proceso de evaporación y secado a 90°C realizado con el agua, queda una materia como residuo, a éste se lo conoce como sólidos totales. Los sólidos totales están formados por material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).
- **Sólidos suspendidos.** Es material no disuelto, los mismos que pueden ser determinados efectuando una filtración por medio de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol pesado previamente pero actualmente se lo realiza en un espectrofotómetro.
- **Sólidos volátiles y sólidos fijos.** Esta se determina con el fin de conocer la cantidad de materia orgánica presente en cierto tipo de aguas, se la realiza generalmente en aguas residuales y lodos.
- **Sólidos sedimentables.** Son aquellos sólidos que se encuentran en suspendidos en el agua residual y posteriormente sedimentarán por acción de la gravedad, sin necesidad de ningún agente externo, en condiciones tranquilas. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

## **1.5.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

### **1.5.2.1 MATERIA ORGÁNICA:**

Son sólidos que provienen de procesos metabólicos tanto del reino animal como del vegetal, así como de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Contienen combinaciones de carbono, oxígeno e hidrógeno, y en algunos casos nitrógeno. Pueden también estar presentes otros elementos pero en cantidades menores como el azufre, hierro o fósforo.

Como principales sustancias orgánicas que se pueden encontrar en el agua residual están:

Proteínas (40 – 60%)

Hidratos de carbono (25 – 50%)

Grasas y aceites (10%)

### **1.5.2.2 HIDRATOS DE CARBONO:**

Los hidratos de carbono están distribuidos en toda naturaleza abundantemente e incluyen celulosa, fibra de madera, azúcares, almidones, presentes en el agua residual.

Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Ciertos carbohidratos como los azúcares son solubles en el agua, mientras que otros como almidones son insolubles en el agua.

### **1.5.2.3 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO):**

La mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que se producen en los cuerpos naturales de agua, la cual se produce por acción de microorganismos heterotróficos, a los cuales hay que cuantificar. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

**Materia orgánica + O<sub>2</sub> + nutrientes → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + nuevas células + Nutrientes + energía**

Para conocer la concentración de materia orgánica en las aguas residuales el ensayo más importante para su determinación es la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) a cinco días. La DBO es el oxígeno utilizado por los microorganismos durante la transformación de la materia orgánica presente en el agua residual, la determinación de la DBO se la realiza en condiciones aeróbicas en un período de 5 días a 20<sup>0</sup>C. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

### **1.5.2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

La DQO (Demanda Química de Oxígeno) es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por una determinada cantidad de agua residual durante la oxidación, la cual se la realiza utilizando agentes químicos, los cuales se caracterizan por ser fuertemente oxidante. Su determinación es más rápida que la DBO, realizándola en aproximadamente en unas dos horas.

### **1.5.2.5 Oxígeno disuelto (OD):**

El OD (Oxígeno Disuelto) es un parámetro indispensable y uno de los más importantes para el control y tratamiento de aguas residuales. El OD es la fuente de energía para los seres vivos y puede incrementarse o disminuirse por los siguientes factores:

- Captación de oxígeno en la interface aire – agua
- Acción fotosintética por la presencia de algas verdes
- Bajas de temperatura
- Dilución

Con la respiración de microorganismos, algas y organismos macroscópicos, la cantidad de oxígeno disminuye, a más de estos factores, la cantidad de oxígeno disuelto se ve afectada por incrementos en la temperatura, reacciones químicas, y por la acción metabólica de los organismos. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

#### **1.5.2.6 GRASAS Y ACEITES:**

Tanto grasas como aceites son sustancias poco solubles que se separan del agua residual y flotan formando natas, películas y capas sobre el agua. Las grasas, aceites y ceras son lípidos que se encuentran en aguas residuales. Las bacterias las emplean como alimento, debido a que pueden ser hidrolizadas en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes.

Los aceites y grasas generalmente son biodegradables ya que en su mayoría son de origen animal y vegetal y se los puede tratar en plantas biológicas. Sin embargo grandes cantidades de grasas emulsificadas como las que provienen de mataderos, frigoríficos, lavanderías y otras industrias ocasionan graves problemas al momento de realizar el mantenimiento en las plantas de tratamiento.

En el caso de grasas y aceites de origen mineral se debe realizar un tratamiento previo ya que en su gran mayoría no son biodegradables y deben ser removidos antes de ingresar al tratamiento biológico. Pero aun, no se conoce algún tipo de proceso que se emplee para diferenciar las grasas y aceites vegetales o animales de las de origen mineral.

### **1.5.2.7 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH):**

En los tratamientos biológicos, si el agua tiene un pH menor a 6, se produce una proliferación de hongos sobre las bacterias. Cuando un pH es bajo el cloro se hace presente ya que predomina el ácido hipocloroso (HClO), que mata a todas las bacterias que ayudan a la depuración del agua ya que este tiene poder bactericida; por el contrario si las aguas residuales presentan un pH alto éstas tendrán nitrógeno en forma gaseosa no iónica (NH<sub>3</sub>), la cual es tóxica sin embargo se la puede remover mediante arrastre con aire, especialmente cuando el pH presenta valores entre 10,5 y 11,4. Para que un tratamiento biológico sea ideal y para que la existencia de la mayoría de vida biológica (bacterias) sea la adecuada los valores de pH deben bordear la neutralidad (pH7) o estar en un rango de 6,5 a 8,5. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

### **1.5.2.8 DETERGENTES:**

Los detergentes son compuestos de materiales orgánicos superficialmente activos en soluciones acuosas. Las moléculas se caracterizan por ser grandes, un extremo de la molécula es muy soluble en agua y el otro extremo es soluble en aceites; generalmente se componen de sales de sodio o de potasio. Cuando los detergentes entran en contacto con el agua rompen la su tensión superficial y provocan la formación de burbujas, esto se ocasiona gracias a su contenido de agentes superficiales activos o surfactantes las cuales son sustancias que se combinan en una sola molécula un grupo hidrofóbico con un hidrofílico, los dos se caracterizan por ser grupos fuertes. (L,J Villena, 1995).

## **1.5.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

### **1.5.3.1 MICROORGANISMOS PATÓGENOS:**

Los patógenos se los encuentra generalmente en las aguas residuales domésticas, se los puede encontrar en todas sus formas como bacterias, virus, protozoarios y helmintos. No es muy común encontrarlos en aguas residuales ya que algunos de

estos microorganismos son causantes de enfermedades mortales, pero por seguridad se asume que están presentes en un número considerable y son un peligro para la salud. Afortunadamente sea cual sea el tratamiento del agua residual pocos o casi ningún microorganismo sobrevive. (Alviz, 2012, p. 65-87).

#### **1.5.3.2 BACTERIAS:**

Son microorganismos unicelulares los cuales constituyen la menor forma de vida capaz de sintetizar el protoplasma a partir de su ambiente y no presentan coloración alguna. Presentan diversas formas: cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos).

En el caso de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, las bacterias cumplen el rol más importante. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

#### **1.5.3.3 VIRUS:**

Son parásitos obligados que requieren de un huésped en donde alojarse para poder iniciar con la reproducción y causar una infección. Los desórdenes en el sistema nervioso son los principales síntomas cuando ha ocurrido una infección a causa de virus.

Los virus también están presentes en el agua y representan un alto riesgo para la salud, para poder ser eliminados se necesita de dosis de cloro que superen a las normales o a las del punto de quiebre, para lo cual es necesario que se vuelva a clorar a las aguas residuales.

#### **1.5.3.4 PROTOZOARIOS:**

Son organismos unicelulares más complejos que las bacterias y los virus a pesar de representar el nivel inferior de la vida animal. Se caracterizan por adaptarse a cualquier medio con facilidad, los protozoarios se distribuyen ampliamente en las aguas naturales y solo algunos de ellos son patógenos cuando se encuentran en sistemas acuosos. (Alviz, 2012, p. 65-87).

Las bacterias y otros microorganismos son el principal alimento de los protozoarios y por esta razón son de mucha importancia al momento de realizar un tratamiento biológico de las aguas residuales ya que mejoran la calidad de las aguas y la eficiencia del tratamiento biológico. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

## **1.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **1.6.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS.**

Los tratamientos en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios.

Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

### **1.6.2 TRATAMIENTOS PRELIMINARES:**

Técnicamente no se los reconoce como procesos en sí, pero sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos. Para esto se utiliza tamices, rejas y microfiltros, etc.

#### **1.6.2.1 REJAS:**

Son utilizadas para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. Se utilizan solamente en desbastes previos. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones

posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Se construyen con barras metálicas de 6 o más mm de espesor, dispuestas paralelamente y espaciadas de 10 a 100 mm. Se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o accionados automáticamente.

Para pequeñas alturas de la corriente de agua se emplean rejas curvas y para alturas mayores rejas longitudinales dispuestas casi verticalmente.

### **1.6.2.2 MICROFILTRACIÓN:**

Los microfiltros trabajan a baja carga, con muy poco desnivel, y están basados en una pantalla giratoria de acero o material plástico a través de la cual circula el agua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie interior del microfiltro que dispone de un sistema de lavado continuo para mantener las mallas limpias. Se han utilizado eficazmente para separar algas de aguas superficiales y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales. Según la aplicación se selecciona el tamaño de malla indicado.

### **1.6.3 TRATAMIENTOS PRIMARIOS:**

El principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico.

### **1.6.3.1 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA:**

Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

### **1.6.3.2 PRECIPITACIÓN QUÍMICA – COAGULACIÓN:**

La coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.

### **1.6.4 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS:**

El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la

descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc, que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto.

Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

#### **1.6.4.1 LODOS ACTIVADOS:**

Es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

#### **1.6.4.2 BIODISCO:**

Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergida de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

#### **1.6.4.3 LAGUNAJE:**

El tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1/3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

#### **1.6.4.4 FILTRO BIOLÓGICO:**

Está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos.

La altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO<sub>2</sub>.

#### **1.6.4.5 TRATAMIENTOS TERCIARIOS:**

Tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

### **1.7 TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS**

El proceso de los lodos activados para el tratamiento de aguas residuales está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica.

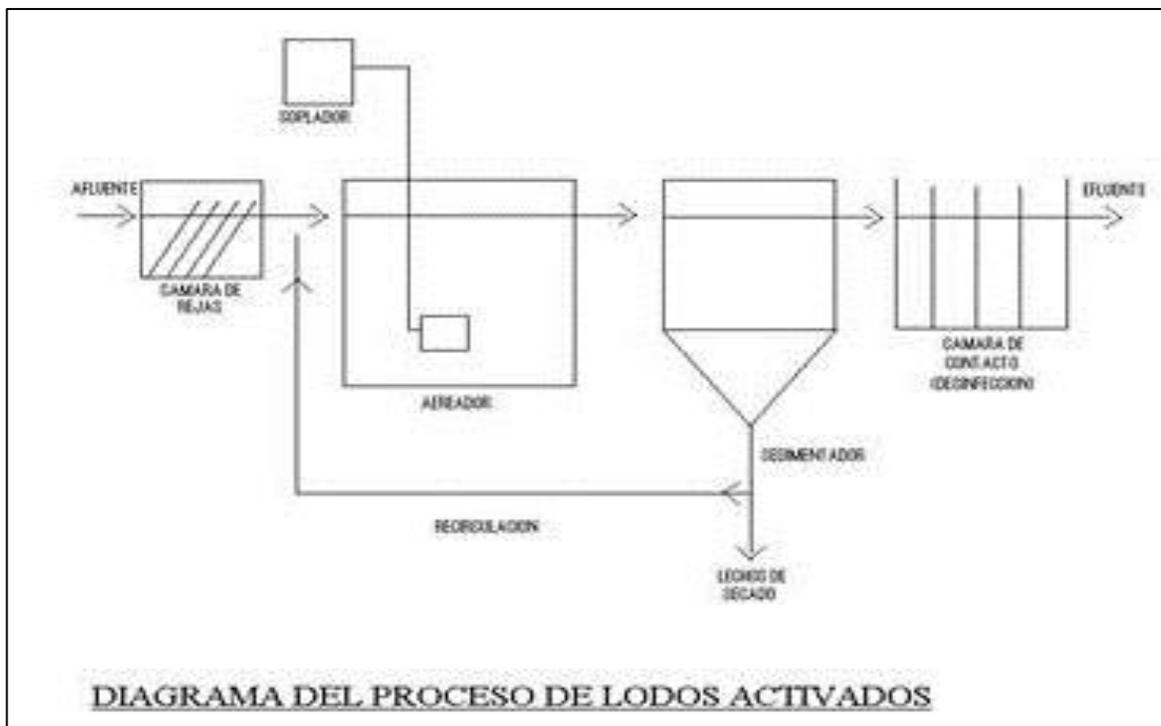
Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas residuales, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez.

Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos, y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante.

### 1.7.1 FUNCIONAMIENTO

En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción.

Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle. La representación esquemática del proceso se muestra en el diagrama mostrado a continuación.



**Figura 1: Diagrama del proceso de lodos activados**  
Fuente: BORJA, M., Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales

## **1.7.2 PRINCIPIOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

### **1.7.2.1 INSTALACIÓN TÍPICA**

Los elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados son:

- Tanque de Aeración: Estructura donde el agua y los microorganismos son mezclados. Se produce reacción biológica.
- Tanque Sedimentador: El agua mezclada procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un agua tratada clarificada.
- Equipo de Aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.
- Sistema de Retorno de Lodos: El propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retornados al tanque de aireación.
- Exceso de Lodos y su Disposición: El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, es eliminado, tratado y dispuesto. (Borja, M, 2011, p. 52-105).

### **1.7.2.2 OPERACIONES BÁSICAS**

- Pretratamiento/Ajuste de Aguas Residuales: En algunos casos las aguas residuales deben ser acondicionadas antes de procederse con el proceso de lodos activados, esto debido a que ciertos elementos inhiben el proceso biológico (grandes cantidades sólidos, aguas residuales con valores anormales de pH, etc).
- Remoción de DBO en un Tanque de Aeración: Las aguas residuales crudas mezcladas con el lodo activado retornado del tanque sedimentador final es aireado hasta obtener 2mg/L de oxígeno disuelto o más, en donde una parte

de materia orgánica contenida en los desagües es mineralizada y gasificada, y la otra parte, es asimilada como nuevas bacterias.

- Operación Sólido-Líquido en el tanque de sedimentación: Los lodos activados deben ser separados del licor mezclado provenientes del tanque de aireación, proceso que se realiza en el tanque de sedimentación, concentrándolos por gravedad. Las finalidades de este proceso es: Conseguir un efluente clarificado con un mínimo de sólidos suspendidos, y, asegurar el lodo de retorno.
- Descarga del Exceso de Lodos: Con la finalidad de mantener la concentración de los lodos activados en el licor mezclado a un determinado valor, una parte de los lodos son eliminados del sistema a lechos de secado. (Rodie, E, 1978, p. 2-13)

## **1.8 PARÁMETROS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

### **1.8.1 PARÁMETROS OPERACIONALES**

Hay unos parámetros operacionales que son característicos del proceso y cuyos rangos se deben respetar para mantener un óptimo rendimiento, son los parámetros que se fijan en el diseño de la planta de tratamiento.

### **1.8.2 CARGA MÁSCA:**

Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico al día y la masa de microorganismos existentes en el mismo. Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración que puede dar la planta. Se expresa como:

$$C_m = Q * S_0 / V * X \text{ (kg DBO5/kg MLVSS día)}$$

Dónde:

Q = caudal.

S<sub>0</sub> = DBO<sub>5</sub> de entrada;

V = volumen;

X = Sólidos en Suspensión Volátiles del Licor Mezcla. (4)

### **1.8.3 EDAD DEL FANGO:**

Es la relación entre la masa de fangos existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad del fango tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO.

Cada operador debe encontrar la edad de fango adecuada para su planta en concreto dentro de unos rangos que están relacionados con la carga másica. Se expresa:

$$E = V * X / Q_p * X_p \text{ (días)}$$

Dónde:

Q<sub>p</sub> = caudal de purga de fangos;

X<sub>p</sub> = Sólidos en suspensión Volátiles de los fangos purgados o fangos en exceso.

### **1.8.4 CARGA VOLUMÉTRICA:**

Es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor, por unidad de tiempo y el volumen de la cuba. Se expresa como:

$$C_v = Q * S_0 / V \text{ (Kg DBO}_5\text{/m}^3\text{ día)}.$$

### **1.8.5 RENDIMIENTO EN LA DEPURACIÓN:**

Es la relación entre la masa de la materia orgánica eliminada y la del influente que entra en el reactor biológico. Se expresa en porcentaje de eliminación:

$$R = \frac{S_0 - S}{S_0} (\%)$$

S = DBO5 del efluente del decantador secundario.

### **1.8.6 PARÁMETROS DE CONTROL**

El control se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores relacionados entre sí:

- **CANTIDAD DE FANGOS QUE HAY QUE MANTENER EN EL PROCESO RESPECTO A LA CARGA ORGÁNICA ENTRANTE**

Para conseguir los rendimientos deseados es fundamental mantener una carga másica (Cm), determinada, controlando los Kg de DBO5 que entran en el tratamiento y la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS) en la cuba.

- **DECANTABILIDAD DE LOS FANGOS EN EL CLARIFICADOR**

La decantabilidad puede controlarse mediante el Índice Volumétrico de Fangos o IVF.

- **TIEMPO DE PERMANENCIA DEL FANGO ACTIVO EN EL DECANTADOR SECUNDARIO**

El fango del decantador debe extraerse tan pronto como se forme la manta de fangos, cuyo espesor se recomienda que esté comprendido entre 0,3 - 1 metros.

- **CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LA CUBA DE AIREACIÓN**

La aportación de O<sub>2</sub> a la cuba debe ser suficiente para que los microorganismos puedan respirar y oxidar la materia orgánica y debe regularse en función de la carga orgánica que llegue a la cuba.

- **CAUDAL DE RECIRCULACIÓN**

Regula la concentración de sólidos en suspensión en la cuba, MLSS.

- **EXTRACCIÓN DE FANGOS EN EXCESO:**

Regula la edad del fango y la concentración de MLSS en la cuba. Existen otros factores que no son controlables por el operador, pero que influyen decisivamente en el rendimiento. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

### **1.8.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES BRUTAS**

Caudales, concentraciones de DBO<sub>5</sub>, presencia de tóxicos e inhibidores, etc. Es fundamental controlar el aumento puntual de la carga contaminante que los vertidos industriales, las operaciones de limpieza del alcantarillado o la puesta en marcha de alguna estación de bombeo parada durante largo tiempo pueden producir en el agua de entrada a la planta, así como los aumentos de caudal y arrastre de arenas que se producen en la época de lluvias en los sistemas de alcantarillado unitario.

### **1.8.8 CALIDAD EXIGIDA AL EFLUENTE**

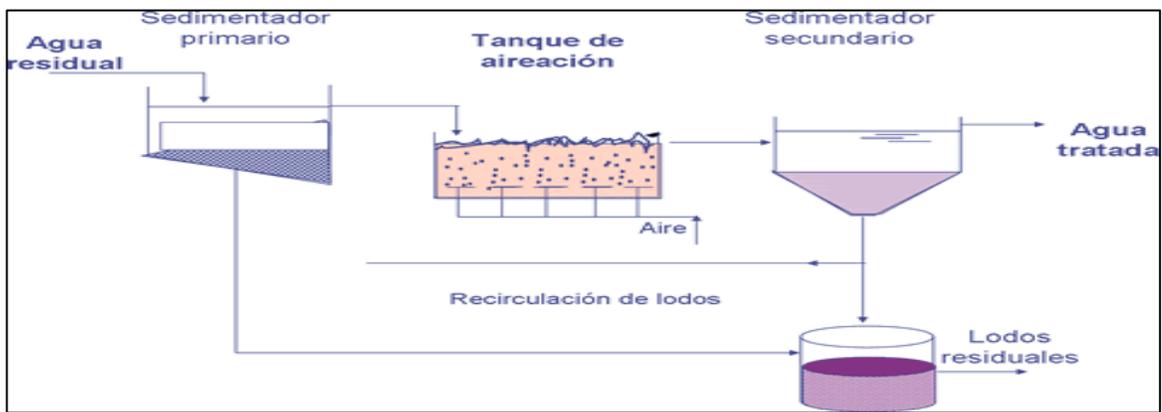
Porcentaje de eliminación de DBO<sub>5</sub>, SS, bacterias coliformes, nitrógeno, grasas, etc. La calidad que las autoridades exijan al agua de salida de la planta, va a determinar tanto el funcionamiento del proceso como el control del mismo. Si se requiere un alto grado de tratamiento, el proceso deberá estar muy controlado y probablemente se requiera de un tratamiento adicional. (Alviz, 2012, p. 65-87).

## 1.9 TIPOS DE LODOS ACTIVADOS

### 1.9.1 CONVENCIONAL

Este proceso se caracteriza por operar con régimen de flujo pistón. Fue la primera opción que se empleó, pero dado que los microorganismos se adaptan mejor al medio homogéneo, comenzaron a emplearse. Este proceso consiste de un tanque de aireación, un sedimentador secundario y una recirculación del lodo.

El sistema de aireación puede estar constituido por difusores o aireadores mecánicos, obteniéndose eficiencia en la remoción de DBO5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que varía de 4 a 8 horas. Este proceso es sensible a sobrecargas.



**Figura 2: Proceso de tratamiento por lodos activados**

**Fuente: BORJA, M., Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales**

### 1.9.2 DE MEZCLA COMPLETA

Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa de bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentara en la unidad subsiguiente del sistema. Este tipo de tratamiento es el más comúnmente utilizado a nivel mundial para tratar

aguas residuales de ciudades de población media, además de ser uno de los procesos más estudiados y seguros, con el cual es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico de 3 a 5 horas; muestra particular resistencia a los choques y sobrecargas. Este proceso se realiza en tanques en forma simétrica; en cualquier punto del estanque, hay igual proporción de líquidos y lodos e igual DBO.

### **1.9.3 LODOS DE AIREACIÓN PROLONGADA O EXTENDIDA**

Conocido también como Oxidación Total. Su diagrama de flujo es esencialmente la misma que un sistema de mezcla completa excepto que no tiene sedimentador primario. El tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador, permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión. Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas. (Lopez, J, 1982)

### **1.10 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS PARA AGUAS RESIDUALES.**

El sistema está conformado por las siguientes unidades internas:

- Cámara de sedimentación primaria.
- Cámara de aireación (digestión aerobia).
- Cámara de sedimentación secundaria.
- Cámara de cloración. Filtro UVC (Opcional). (Alviz, 2012, p. 65-87).

### **1.10.1 CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA Y DIGESTIÓN ANAERÓBICA.**

En ésta cámara, que recibe el efluente crudo, la materia en suspensión sedimenta y se produce un primer tratamiento anaeróbico de la carga orgánica, así como la digestión de parte de los barros generados en la etapa aeróbica, aquí se tratan los sólidos gruesos ( papeles y algodones así como también la orina ). (Borja, M, 2011, p. 52-105).

### **1.10.2 SISTEMA DE AIREACIÓN**

El sistema de aireación, alimentado por soplador, dispersa el aire en el fondo de la cámara de aireación por medio de una serie de difusores de alto rendimiento y están diseñados de tal manera que son inobstruibles, impidiendo el retorno del líquido por la cañería al cesar el flujo de aire.

En esta etapa se eliminan todos los elementos que provocan olores y también las grasas y detergentes.

### **1.10.3 LODOS DE FLUJO PISTÓN**

Se describe como aquel en que todas las partículas del fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo. De esta manera, los elementos de fluido pasan a través del sistema y son descargados en la misma secuencia en que fueron introducidos y no hay ningún tipo de "dispersión axial" mientras el fluido se desplaza a lo largo del reactor.

### **1.10.4 MICROORGANISMOS EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVOS**

El predominio de protozoos, rotíferos y gusanos como los nematodos, está relacionada con la calidad del lodo activado, con los parámetros operativos y la edad

del lodo, así como también es importante saber que los protozoos y los rotíferos son organismos depuradores del agua residual en donde los primeros consumen bacterias dispersas no floculadas y los segundos, partículas de floc biológico suspendidas.

A continuación se mencionan los tipos de microorganismos presentes según diversos factores que se presentan a lo largo del tratamiento:

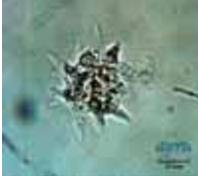
- Al dar inicio al funcionamiento de una planta de lodos activados se forma muy poco lodo debido al predominio de las amibas.
- En lodos dispersos, no floculentos con producción de un efluente de baja calidad, predominan los flagelados y se puede ver la existencia de relaciones A/M altas y edades de lodos bajas.
- Los ciliados libres predominan cuando su alimento es decir las bacterias son abundantes, y los ciliados adheridos al floc predominan cuando hay abundancia de bacterias. (2)
- Si la relación A/M disminuye, en una planta convencional de lodos activados se da un predominio de los rotíferos y los nematodos, pudiendo ser el floc fino, tipo cabeza de alfiler, y la calidad del efluente se deteriora.

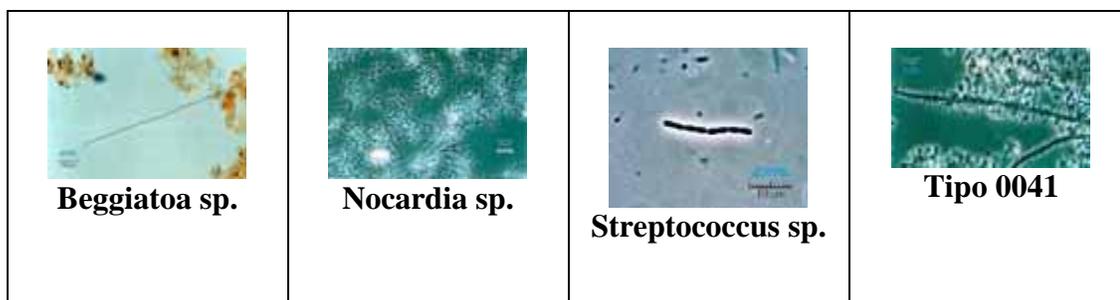
Sin embargo, en plantas de lodos activados de aireación prolongada con relación A/M baja, concentración alta de biomasa en el reactor y edad de lodos prolongada, predominan los rotíferos y los nematodos y se obtiene un efluente de buena calidad.

Un rendimiento óptimo en el tratamiento se da cuando el lodo es de buen asentamiento y existe un equilibrio entre la población de ciliados libres y adheridos, así como de rotíferos y flagelados.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los microorganismos que se encuentran con más frecuencias en un proceso de depuración de aguas residuales mediante lodos activados. (Rodie, E, 1978, p. 2-13)

**1.11 MICROORGANISMOS FRECUENTES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

<b>ROTÍFEROS</b>	<b>AMIBAS</b>	<b>CILIADOS FIJOS</b>	<b>CILIADOS LIBRES</b>
 <p><b>Philodina sp.</b></p>	 <p><b>Ameboide desnudo</b></p>	 <p><b>Carchesium sp.</b></p>	 <p><b>Chilodonella sp.</b></p>
 <p><b>Lecane sp.</b></p>	 <p><b>Teca de Arcella</b></p>	 <p><b>Epistylis Plicatilis</b></p>	 <p><b>Prorodon teres</b></p>
<b>BACTERIAS FILAMENTOSAS</b>			
 <p><b>Icrothrix pavicella</b></p>	 <p><b>Sphaerotilus Natans</b></p>	 <p><b>Thiothrix I</b></p>	 <p><b>Tipo 1701</b></p>



**Figura 3: Microorganismos presentes en el proceso de lodos activados.**  
**Fuente: VIRACUCHA, Sandra., Tesis de grado “Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en un ingenio azucarero con la tecnología de lodos activados”**

### **1.12 REQUISITOS NUTRICIONALES DE LOS MICROORGANISMOS**

En todo tratamiento biológico es necesario que los microorganismos reciban todos los elementos necesarios para formar el protoplasma. Generalmente un agua residual doméstica contiene los elementos necesarios, mientras que ciertas aguas provenientes de procesos industriales son deficientes en algunos alimentos nutricionales primordiales, especialmente nitrógeno y fósforo.

La especie biológica predominante en el floc biológico de lodo activado está determinada por la naturaleza de los compuestos orgánicos en el agua residual que se va a tratar. Así por ejemplo, un agua residual deficiente en nitrógeno estimula el crecimiento de hongos en vez de bacterias, de modo que si existe un predominio de hongos filamentosos habría una sedimentación pobre y una baja eficiencia en la remoción de DBO.

Teóricamente, una relación de DBO/N/P de 100/5/1 es adecuada para tratamiento aeróbico, con pequeñas variaciones según el tipo de tratamiento y el modo de operación. Para tratamiento en procesos de mezcla completa de lodos activados se ha sugerido una relación DBO/N/P de 100/ 3/0,7. En general, las aguas residuales domésticas presentan un exceso de N y P, con relación de 100/17/5, lo cual permite tratamiento biológico apropiado.

En caso de que un agua residual municipal contenga un gran volumen de residuos industriales deficientes en N, se suministra nitrógeno adicional mediante la adición de amoníaco deshidratado ( $\text{NH}_3$ ), y si se requiere fósforo se agrega ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

### **1.13 SISTEMAS DE AIREACIÓN**

La aireación se da por medio de difusores de alto rendimiento donde el aire se propaga desde el fondo de la cámara de aireación hasta la superficie, éstos difusores están diseñados de modo que sus orificios no se obstaculicen y que el líquido no pueda retornar por los agujeros de flujo de aire hacia los difusores. Los olores que normalmente se producen en el tratamiento de aguas residuales, así como las grasas y detergentes presentes son eliminados durante éste proceso.

La cantidad de oxígeno que es consumido por los microorganismos (bacterias) dentro de un reactor biológico se denomina tasa de utilización del oxígeno. La tasa de utilización del oxígeno siempre será mayor a la tasa natural de reposición cuando se trate del proceso de lodos activados, es por esta razón que se deben emplear métodos artificiales de adición de oxígeno.

Como se mencionó anteriormente, para la aireación se utilizan difusores (piedras o mallas porosas), las cuales inyectan dentro del reactor biológico aire comprimido. También se lo hace mediante aireadores mecánicos los cuales hacen que el contenido se agite de manera violenta para poder introducir y distribuir aire dentro del líquido a tratarse. En los sistemas de flujo pistón generalmente se emplean difusores de aire, mientras que en sistemas completamente mezclados los aireadores mecánicos son los más empleados, aunque existen excepciones en los dos casos. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

### 1.13.1 DIFUSORES DE AIRE

En el mercado existe gran diversidad de equipos difusores de aire. Existen los difusores de burbujas finas, los cuales producen gran cantidad de burbujas de 2.0 a 2.5 mm de diámetro aproximadamente, mientras que los difusores de burbujas grandes generan un número mucho menor de burbujas de mayor tamaño (superior a 25 mm de diámetro).

Los difusores de burbujas finas están diseñados con granos de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) u óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}$ ) y son soportes porosos, placas o tubos que se incluyen en una masa porosa con un cemento cerámico. Es común también utilizar tubos recubiertos de nylon,

dacrón (tela sintética) o saran (malla de color negro). La formación de burbujas se produce debido al aire comprimido que atraviesa las partes porosas, se transporta el oxígeno provocando turbulencia en el reactor de aireación. Del tamaño de la burbuja va a depender el rendimiento de estos difusores; entre 5 y 15% son valores normales.

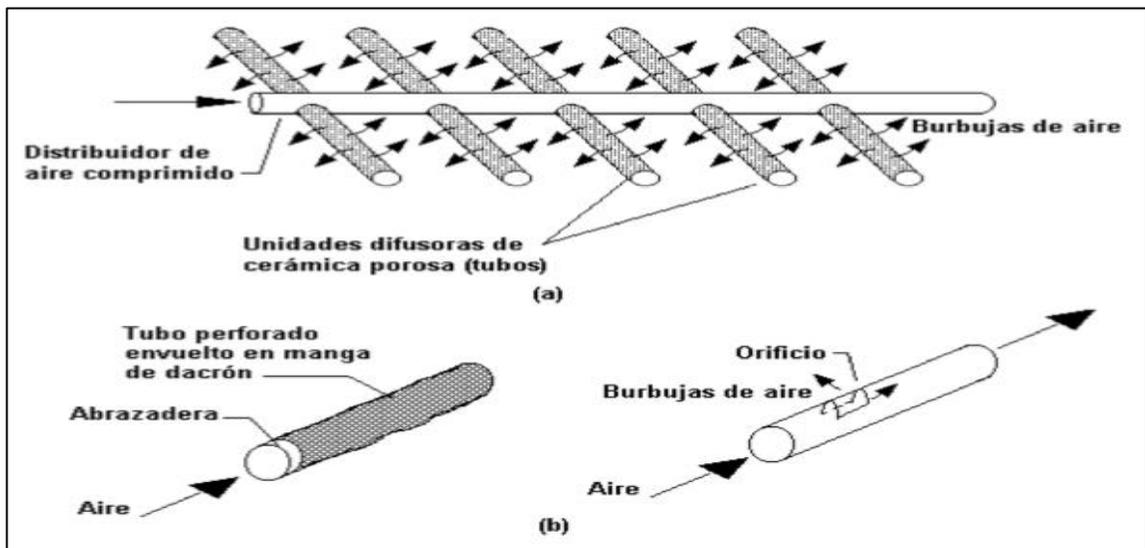


Figura 4: Sistemas de difusión: a) de burbuja fina y b) de burbuja gruesa.  
Fuente: Ingeniería de sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales) VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ.

En los sistemas de aireación las burbujas finas generan mayores eficiencias que los difusores de burbujas grandes ya que alcanzan mayores volúmenes de aire por área superficial.

Sin embargo, debido a las pérdidas de carga a través de los poros pequeños es necesario mayor compresión del aire lo que trae consigo mayor consumo de energía y el aire comprimido debe ser filtrado para eliminar todas las partículas que podrían obstruir los orificios del difusor los cuales son muy pequeños.

### **1.13.2 AIREADORES MECÁNICOS**

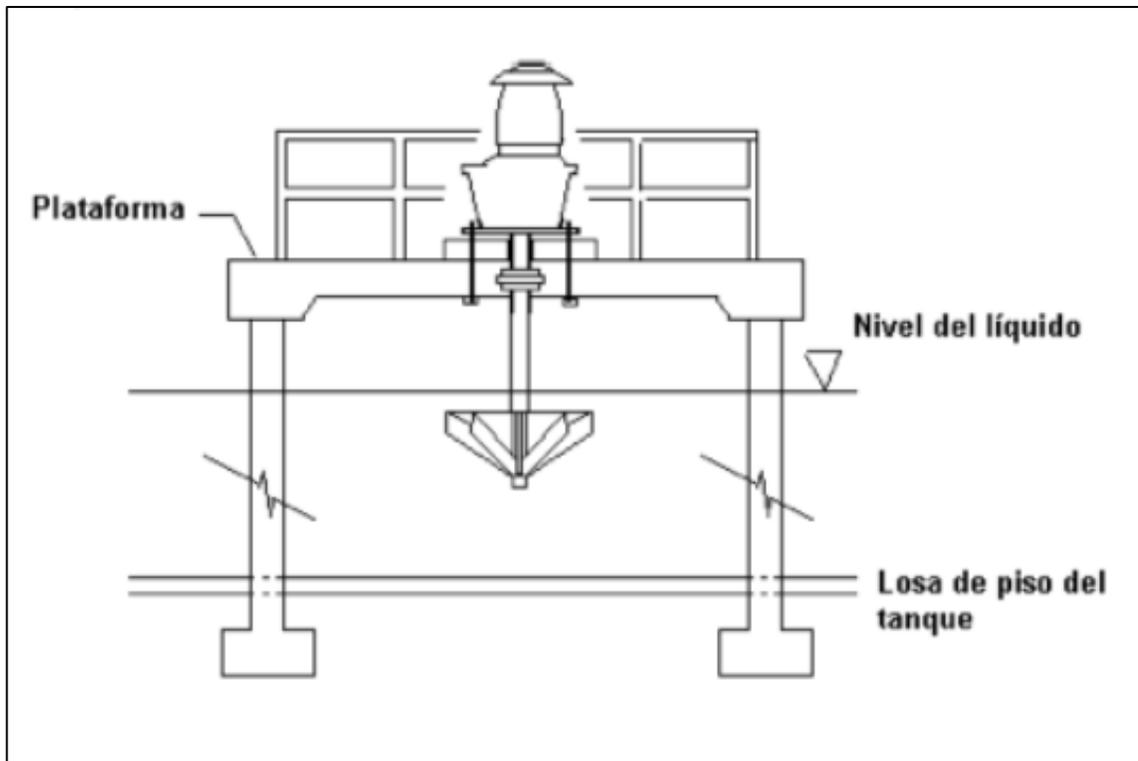
Arrastrar oxígeno del aire. Difiere de los aireadores de turbina o de difusión ya que no hay un flujo o corriente de aire en estos sistemas.

Los aireadores mecánicos pueden tener impulsores de alta velocidad que generan grandes cantidades de aire y relativamente pequeñas cantidades de agua.

Los impulsores de gran tamaño operan a velocidades bajas y agitan volúmenes grandes de agua. Éstos succionan el líquido de la parte inferior de la unidad, siendo luego esparcido hacia el exterior y hacia arriba por un mecanismo dentro de un tubo vertical.

La mayoría de aireadores de superficie se fijan sobre vigas las cuales se colocan en los tanques de aireación.

También son instaladas sobre un flotador de fibra de vidrio reforzado, relleno con espuma de plástico, que hace de éste un sistema insumergible.



**Figura 5: Aireador mecánico de superficie, fijo sobre plataforma de baja velocidad.**  
**Fuente: Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales) VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ**

Se puede observar el diseño de un aireador mecánico de baja velocidad colocado sobre una plataforma. En el proceso de aireación extendida se emplean unidades pequeñas de alta velocidad, mientras que en los sistemas convencionales de lodos activados son comunes impulsores de baja velocidad.

La transferencia de oxígeno al agua se obtiene de dos maneras cuando se emplean aireadores mecánicos: turbulencia y dispersión. La turbulencia es el paso de oxígeno en la superficie turbulenta del líquido y la dispersión es el paso de oxígeno a las gotas esparcidas por las paletas del sistema.

En los aireadores superficiales de flujo vertical están compuestos de: zona de incidencia, zona de mezcla completa y zona de influencia.



**Figura 6: Zonas de funcionamiento de un aireador mecánico.**  
**Fuente: Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales, VALDEZ, Enrique César y VASQUEZ.**

Para el diseño de un aireador con tamaño adecuado y logre el mezclado deseado, se toma en cuenta a los siguientes factores: eficiencia de la transferencia de oxígeno, conos de entrada largos y cortos, flujo de alta velocidad, control de la erosión y potencia recomendada para mezclado completo.

La zona de agua blanca al lugar en donde se realiza la mezcla completa; en éste proceso los sólidos permanecen en suspensión. A la mezcla completa se la conoce como el proceso en el que la concentración de sólidos no varía más del 10% o la velocidad promedio es mayor o igual a 0.15 m/s. Fuera de éste rango los sólidos sedimentan. (Alviz, 2012, p. 65-87).

### 1.14 PARÁMETROS DE DISEÑO Y FORMULAS EMPLEADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVOS.

Las formulas empleadas al igual que las constantes de diseño fueron tomadas de diferentes bibliografías que serán detalladas a continuación:

#### 1.14.1 PARÁMETROS TÍPICOS PARA DISEÑAR PLANTA DE TRATAMIENTO CON REACTORES DE LODOS ACTIVADOS.

Proceso	TRMC Días	A/M kg DBO/kg SSV·d	SSLM mg/L	TRH Horas
Aireación de alta tasa	0.5-2	1.5-2.0	200-1000	1.5-3
Contacto – estabilización	5-10	0.2-0.6	1000-3000 6000-10000	0.5-1 2-4
Oxígeno puro	1-4	0.5-1.0	2000-5000	1-3
Convencional (flujo pistón)	3-15	0.2-0.4	1000-3000	4-8
Completamente mezclado	3-15	0.2-0.6	1500-4000	3-5
Alimentación por etapas	3-15	0.2-0.4	1500-4000	3-5
Aireación extendida	20-40	0.04-0.10	2000-5000	20-30
Zanjas de oxidación	15-30	0.04	3000-5000	15-30
Reactores secuenciales por carga (SBR)	10-30	0.04	2000-5000	15-40

Cuadro 2: Parámetros típicos para diseñar planta de tratamiento con reactores de lodos activados.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

### 1.14.2 VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES CINÉTICOS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

		Valores para 20°C	
Coeficientes	Unidades	Rangos	Típicos
Y	mg SSV/mg DBO5	0.4-0.8	0.6
Kd	d <sup>-1</sup>	0.025-0.075	0.06
K	mg/L DBO5	25-100	60

**Cuadro 3: Valores típicos de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados**  
Fuente: Metcalf & Eddy, 1991

- Caudal de agua

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

**Dónde:** V = volumen (m<sup>3</sup>)  
t = tiempo (s)

- DBO del efluente

Esta se puede calcular, suponiendo que un 75% de los SS del efluente son biodegradables y que la relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DBO última carbonácea es igual a 0,68. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

$$S_e = DBO_e - (0.63)SS \quad (\text{Ecuación 2})$$

**Dónde:** S<sub>e</sub> = DBO del efluente (mg/L)

DBO<sub>e</sub> = DBO total deseada del efluente (mg/L)

SS = sólidos suspendidos del efluente (mg/L)

- **Biomasa en el reactor**

$$XV = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{1 + k_d \theta_c} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

**Dónde:**  $\theta_c$  = tiempo medio de retención celular

$Y$  y  $K_d$  = coeficientes biocinéticos

$S_0$  = DBO del agua residual cruda

$S_e$  = DBO del efluente

- **Volumen del reactor**

$$V = \frac{XV}{X} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

**Donde**  $X$  = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

- **Tiempo medio de retención hidráulica**

Cantidad de tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento de las aguas crudas. Es importante que se proporcione el tiempo suficiente para permitir que las bacterias asimilen la materia orgánica presente en el agua residual, considerando que si el tiempo de retención en el tanque de aeración es muy pequeño, no toda la materia orgánica será removida, y el efluente tendrá valores altos de DBO<sub>5</sub>. (Metcalf, y Eddy, 2003, p. 565-650).

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

**Dónde:**  $V$  = volumen total

$Q$  = caudal afluente

- **Producción de lodo**

$$P_X = \frac{Y Q (S_0 - S_e)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

**Dónde:**  $P_X$  = tasa de producción de lodos (g SSV/d)

$\theta_c$  = tiempo medio de retención celular

$Y$  y  $K_d$  = coeficientes biocinéticos

$S_0$  = DBO del agua residual cruda

$S_e$  = DBO del efluente

- **Producción de solidos totales de desecho**

$$\text{Lodos seco} = \frac{P_x}{\text{porción volátil de los sólidos totales}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

**Dónde:** Lodo seco = (kg/d)

- **Caudal de lodos de desecho**

$$Q_w = \frac{\text{lodos seco} * (10^3)}{\text{concentración se sólidos totales en el lodo sedimentado}} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

**Dónde:**  $Q_w$  = caudal de lodos de desecho ( $m^3$  /d)

- **Caudal de recirculación de lodos**

$$Q_R = \frac{Q X}{X_R - X} \quad (\text{Ecuación 9})$$

**Dónde:** X= concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM

Xr= concentración de SSV en el lodo dispuesto

- **Relación alimento microorganismo**

Esta es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en el sistema (g DBO por día por gramo de SSVLM, d<sup>-1</sup>). (Méndez, L, 1999, p. 1-10).

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V X} \quad (\text{Ecuación 10})$$

**Dónde:** Q = caudal de agua residual cruda (m<sup>3</sup>/d)

S<sub>0</sub> = DBO del agua residual cruda (mg/L)

V = volumen del líquido en el tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

X= concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM (mg/L)

- **Demanda de oxígeno**

La demanda de oxígeno para aguas residuales domésticas puede calcularse en base a la DBOUC removida, menos la DBOUC del lodo o biomasa extraída del sistema. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

$$DO = 1.5 Q (S_0 - S_e) - 1.42 X_r Q_w \quad (\text{Ecuación 11})$$

**Dónde:**  $Q_w$  = caudal de lodos de desecho ( $m^3/d$ )

$S_0$  = DBO del agua residual cruda (mg/L)

$X_r$  = concentración de SSV en el lodo dispuesto

$S_e$  = DBO del efluente

- **Caudal de aire en condiciones normales**

$$Q_{\text{aire}} = \frac{DO}{(0.232)(1.20)} \quad (\text{Ecuación 12})$$

- **Caudal de aire real**

$$Q_{\text{aire real}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{0.08} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- **Volumen de aire requerido por unidad por unidad de DBO aplicada al tanque de aireación.**

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{S_0 Q} \quad (\text{Ecuación 14})$$

**Dónde:** Q = caudal de agua residual cruda

$S_0$  = DBO del agua residual cruda (mg/L)

- **Volumen de aire requerido por unidad de DBO removida**

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{\text{DBO}} = \frac{Q_{\text{aire real}} (1000)}{(S_0 - S_e) Q} \quad (\text{Ecuación 15})$$

**Dónde:** Q = caudal de agua residual cruda

$S_0$  = DBO del agua residual cruda (mg/L)

$S_e$  = DBO esperada del efluente

- **Eficiencia en remoción de DBO total**

$$E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0} \quad (\text{Ecuación 16})$$

**Dónde:**  $S_e$  = DBO esperada del efluente

$S_0$  = DBO del agua residual cruda

- **Potencia del compresor**

La potencia necesaria del compresor para alimentar de aire el reactor de lodos activos se determina en base a parámetros tales como: las dimensiones del tanque el caudal, la DBO, DQO y materia orgánica suspendida.

Por lo tanto, basándonos en la cantidad de DBO que ingresa al sistema de tratamiento y el caudal suministrado al reactor se tiene lo siguiente:

$$\text{DBO}_{\text{afuente}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \frac{1\text{kg}}{1000000 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1\text{m}^3} * Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \text{ (Ecuación 17)}$$

Con lo cual sabremos la cantidad de DBO máxima presente en el agua residual expresada en kg DBO/d, entonces se calcula la cantidad de aire requerida, teniendo en cuenta la cantidad de aire necesario para la reducción de 1 Kg de DBO.

$$\left( \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} \right) * \text{cantidad de aire necesario para la reducción de 1kg de DBO} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

**(Ecuación 18)**

- **Presión hidrostática del agua**

Como se sabe, para que el aire pueda salir por a través de los poros de los difusores es necesario que la presión del aire comprimido sea superior a la presión absoluta que se ejerce sobre los difusores, la cual es resultado de la presión hidrostática del agua y la presión atmosférica. (Benfield, L, 2002, p. 51-56, 131-134, 210-217).

Por tanto, la presión hidrostática del agua es:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \rho gh \text{ (Ecuación 19)}$$

**Dónde:**  $\rho$  = densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  = altura del agua (m)

Para lo cual se considera una densidad del agua residual de  $1200 \text{ kg/m}^3$  y la presión deberá estar expresada en psi.

Por tanto,

- **Presión absoluta**

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

A partir de lo cual la potencia del compresor es la siguiente:

- **Potencia del compresor**

$$P = \frac{0.22 Q}{\eta} \left\{ \left[ \frac{P_{\text{abs}}}{14.7} \right]^{0.283} - 1 \right\} \quad (\text{Ecuación 21})$$

En donde  $\eta = 0.8$

## **CAPITULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1 TIPO DE ESTUDIO**

Este estudio es cuasi experimental por que el experimento consiste en someter al objeto de estudio a ciertas variables en condiciones controladas y conocidas por el investigador, en la investigación se controló el caudal y el oxígeno disuelto.

La investigación es aplicada de campo ya que lleva a la utilización y consecuencia práctica del conocimiento adquirido en las aulas y conduce a la creación de nuevos procedimientos para el tratamiento de aguas residuales de queseras.

El método utilizado en la investigación es inductivo por que primero se observó y registro los hechos, luego se realizó un análisis y clasificación de los hechos y finalmente se realizó la derivación inductiva de una generalización de los hechos.

La parte deductiva se dio a partir de principios generales con la ayuda de una serie de reglas de inferencia que demuestran teoremas o principios secundarios.

.

#### **2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

No existe población y la muestra será el agua generada en la quesera.

## 2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**VARIABLE DEPENDIENTE:** Calidad del agua residual

Categoría	Conceptualización	Indicadores	Dimensiones	Técnicas, métodos instrumentos
Dependiente	La calidad de agua está directamente ligada al DBO que es la cantidad de Oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica carbonosa en el agua residual doméstica, bajo condiciones determinadas de tiempo y temperatura. Se aplica para determinar el grado de contaminación o de descontaminación de las aguas	pH  Sólidos suspendidos  Sólidos sedimentables  Solidos totales  Temperatura  DQO  DBO	1-14  mg/lt  mg/lt  mg/lt  °centígrados  mg/lt  mg/lt	pH-metro  Espectrofotómetro DR 2000 Hach  Cono IMHOFF  Técnica de secado en crisol  Termómetros  Espectrofotómetro DR 2000 Hach  MILWAUKEE

	residuales domésticas, ya que a mayor concentración mayor será la contaminación.	Grasas	mg/lt	Método gravimétrico para la determinación de grasas.
--	--	--------	-------	--

**Cuadro 4: Operacionalización de la variable dependiente**

Fuente: El autor

**VARIABLE INDEPENDIENTE:** Operaciones de tratabilidad en el prototipo.

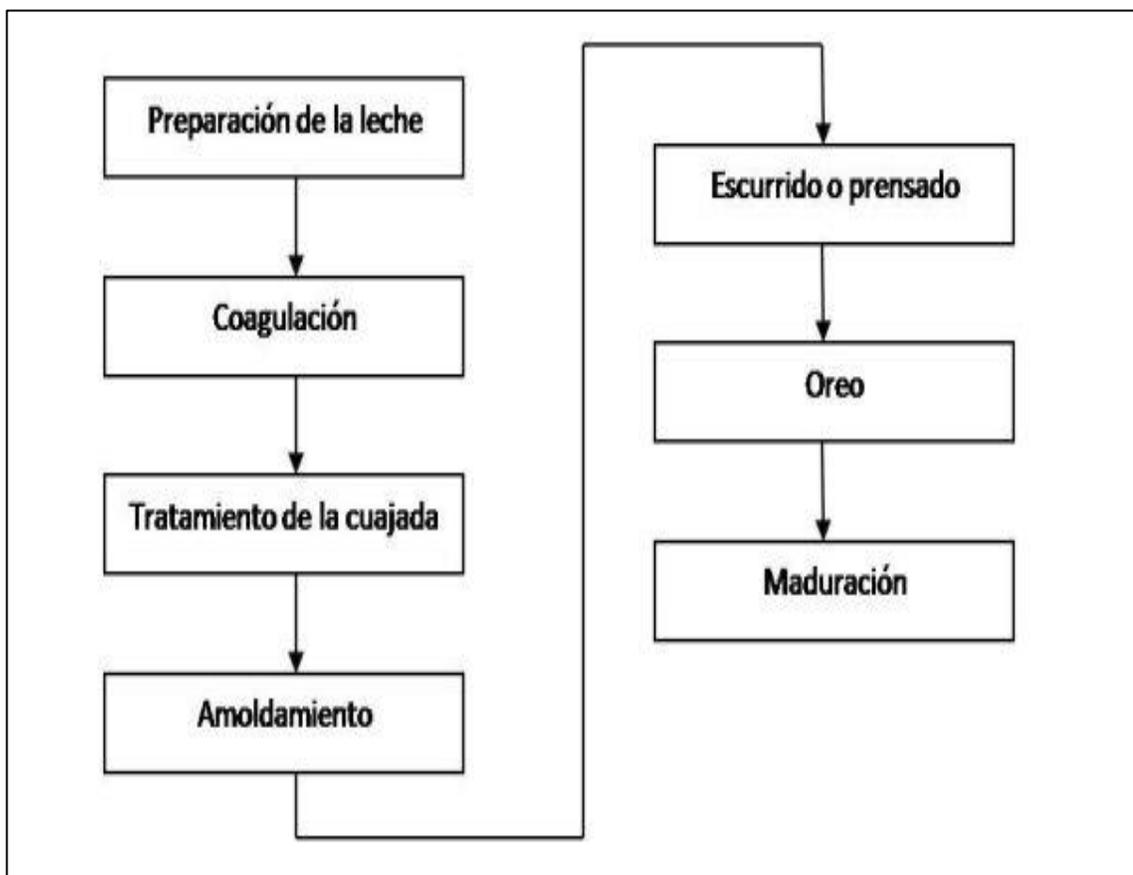
Categoría	Conceptualización	Indicadores	Dimensiones	Técnicas, métodos instrumentos
Independiente	Se entiende por operaciones de tratabilidad a las operaciones unitarias y procesos unitarios que se aplican para el tratamiento de aguas residuales.	Caudal  Análisis físico químico del agua tratada.  Pruebas de Tratabilidad	Litros/día  Dimensiones e indicadores mencionadas en la variable dependiente.  Pruebas con tratamientos biológicos (aireación)	Técnicas con cronometro  Equipo de laboratorios antes mencionados  Cubas de aireación

**Cuadro 5: Operacionalización de la variable independiente**

Fuente: El autor

## 2.4 PROCEDIMIENTOS

La toma de muestras del agua residual se las realizo en la quesera Isabel localizada en el sector Langos el Cisne del Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo, con las muestras tomadas de esta quesera se obtuvo datos importantes para la realización de los diferentes ensayos requeridos para la construcción y puesta en marcha del prototipo.



**Cuadro 6: Diagrama de producción del queso.**  
Fuente: El autor

### 2.4.1 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

Para obtener la muestra de agua residual se empleó el método de muestreo puntual ya que se tomó directamente de la descarga de la fábrica, se obtuvo una muestra de 4 litros para ser analizada en el laboratorio de servicios ambientales.

Los efluentes generados por la fábrica es una mezcla de suero de leche y agua que es utilizado en el lavado de los tanques.

#### Lugar de muestreo



**Figura 7: Patio de la quesera Isabel**  
Fuente: Quesera Isabel

El suero de leche es también utilizado en el lavado de los quesos antes de su empaque.



**Figura 8: Disposición final de las aguas residuales de la fábrica.**  
Fuente: Quesera Isabel

## 2.4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL PREVIO AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La caracterización de las aguas residuales de la quesera Isabel se las realizo en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo y en el Laboratorio de aguas CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ver anexo 1), el agua fue caracterizada con el fin de conocer los niveles de contaminación que estas poseen al determinar los principales parámetros que nos indican que el agua está contaminada como son el DBO y DQO para lo cual se procedió de la siguiente manera:



**Figura 9: Viales de alto rango para DQO y análisis de solidos sedimentables**  
**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH**



**Figura 10: Descarga y tamizado del suero de leche.**  
**Fuente: Quesera Isabel.**

### 2.4.3 TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO Y PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO.

Parámetro	Unidades	Norma	Método
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	STANDARD METHODS 5220-C	Digestión de Reactor (Hach)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	STANDARD METHODS 5210-B	Cabeza Gasométrica
Aceites y grasas	mg/L	STANDARD METHODS 5220-C	Gravimétrico
Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS 2540-B	Gravimétrico
Sólidos Sedimentables	mL/L	STANDARD METHODS 2540-C	Volumétrico
Sólidos Volátiles	mg/L	STANDARD METHODS 2540-B	Gravimétrico
Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540-A	Gravimétrico
pH- Temperatura	Und - °C	-----	Potenciométrico
Oxígeno disuelto	mg/L	-----	Potenciométrico

**Cuadro 7: Técnicas y metodologías de ensayo y parámetros físico químicos analizados en el laboratorio.**

**Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° Edición y métodos HACH adaptados de STANDARD METHODS 21° Edición**

Hay parámetros que se los tiene que realizar in-situ como son el pH y el oxígeno disuelto ya que el tiempo que permanece el agua embotellada hasta llegar al laboratorio altera la muestra y los valores obtenidos no son los reales.

#### 2.4.4 PRUEBAS DE TRATABILIDAD



**Figura 11: Cuba de aireación para pruebas de tratabilidad de aguas residuales.  
Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias UNACH.**

Las pruebas de tratabilidad se las realizo en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, se tomó una muestra de 30 litros de agua residual y se la puso en una cuba de aireación donde permaneció tratándose por 12 horas, con un compresor que proporcionaba 120 litros de aire / minuto. Al finalizar las 12 horas de tratamiento el agua fue nuevamente caracterizada para comprobar que el tratamiento biológico por medio de aireación daba resultado.



**Figura 12: Aireación y homogenización de las aguas residuales procedentes de la quesera Isabel.  
Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias UNACH.**

El primer resultado obtenido en las pruebas de tratabilidad fue la significativa reducción del DQO y el DBO (ver anexo 3) que muestra la siguiente tabla:

AGUA CRUDA	AGUA TRATADA POR 12 HORAS CON AIREACIÓN
• DBO 41330 mg/lt	• DBO 21600 mg/ lt
• DQO 60600 mg/lt	• DQO 25040 mg/lt

**Cuadro 8: Resultados de DQO y DBO en las pruebas de tratabilidad.**  
Fuente: El autor



**Figura 13: Lectura del primer valor de DQO en el espectrofotómetro DR 2000.**  
Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

El segundo resultado obtenido en las pruebas de tratabilidad fue el significativo aumento de los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables (ver anexo 2), ya que los microorganismos presentes en el agua cruda al recibir oxígeno empiezan a metabolizar la materia orgánica incrementándose así los sólidos como se indica en la siguiente tabla:



**Figura 14: Caracterización de sólidos sedimentables.**  
**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**

<b>AGUA CRUDA</b>		<b>AGUA TRATADA POR 12 HORAS CON AIREACIÓN</b>	
Sólidos totales	37000mg/lt	Sólidos totales	59800mg/lt
Sólidos suspendidos	3000mg/lt	Sólidos suspendidos	3400mg/lt
Sólidos sedimentables	259mg/lt	Sólidos sedimentables	4142mg/lt

**Cuadro 9: Resultados de sólidos en las pruebas de tratabilidad.**  
**Fuente: El autor**

La disminución del DBO y el DQO, y el aumento de los sólidos totales, sedimentables y suspendidos comprobó que el tratamiento biológico por medio de aireación es eficaz en la remoción de contaminantes de las aguas procedentes de las fabricas productoras de queso y los resultados obtenidos en el laboratorio nos sirvieron como datos fundamentales para el diseño del prototipo de planta de tratamiento.

## 2.4.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO



**Figura 15: Prototipo de la planta de tratamiento de lodos activados.  
Fuente: El autor**

El prototipo consta de tres tanques el primero es el tanque homogeneizador, el segundo es el bioreactor o tanque aireador y el tercer tanque es el sedimentador, los cuales cumplen con una función específica para el correcto tratamiento de las aguas residuales que entran al sistema de tratamiento.

## 2.4.6 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR.

Intervalo de tiempo en horas	Caudal Promedio Horario (gal/min)	Volumen efluente horario (gal)	Volumen horario acumulado (gal)	Volumen acumulado al final del periodo de tiempo
7-8	7.22	433.2	37.86	37.86
8-9	7.30	438	42.66	80.52
9-10	6.79	407.4	12.06	92.58
10-11	6.56	393.6	-1.74	90.84
11-12	5.84	350.4	-44.84	45.9
12-1	5.97	358.2	-37.14	8.76
1-2	6.46	387.6	-7.74	1.02
2-3	6.97	418.2	22.86	23.88
3-4	8.03	481.8	86.46	110.34
4-5	7.05	423	27.66	<b>134</b>
5-6	4.29	257.4	-137.94	<b>0.06</b>
	6.58	395.34		

**Cuadro 10: Estadística de caudales para el diseño del tanque homogeneizador.**

**Fuente: El autor**

- Valor máximo (3-4) pm= 134 gal
- Valor mínimo (5-6) pm= 0.06gal
- Volumen de almacenamiento necesario:  $134 - 0.06 = 133.94$ gal

$$V = 133.94 \text{ gal} * \frac{1 \text{ m}^3}{264.17 \text{ gal}} = 0.50 \text{ m}^3$$

$$a = h$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$l * a * h = 0.50 \text{ m}$$

$$l * 2h = 0.50 \text{ m}$$

$$l = \frac{0.50 \text{ m}}{2(0.50)}$$

$$l = 0.50 \text{ m}$$

$$l = h = a = 0.50 \text{ m}$$

## 2.4.7 CÁLCULOS DE DISEÑO REAL DEL TANQUE AIREADOR

- CAUDAL

$$Q = V/T$$

$$Q = 34909 \text{ lt}/\text{dia}$$

$$Q = 24,24 \text{ lt}/\text{minuto}$$

$$Q = 34,9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **DBO DEL AFLUENTE ASUMIENDO EL 75% DE EFECTIVIDAD**

$$\frac{DBO\ 21600}{X} \cdot \frac{100\%}{75\%} = 16200\ DBO$$

$$\frac{21600}{-16200} \\ 5400\ mg/lt\ DBO$$

$$\frac{SS\ 3000}{X} \cdot \frac{100\%}{75\%} = 2250$$

$$\frac{3000}{-2250} \\ 750SS\ \frac{mg}{lt}$$

$$Se = 5400\ mg/lt - (0,63)(750)mg/lt$$

$$Se = 4927,5\ mg/lt$$

- **BIOMASA EN EL REACTOR**

$$XV = \frac{(4\ dias)(0,6\ mg\ ssv/mgDBO) \cdot (34909\ lt/dia)(21600 - 4927,5)mg/lt}{1 + (0,05^{d-1})(4\ dias)}$$

$$XV = 332583030\ mg\ ssv$$

$$XV = 332,58\ Kg$$

- **VOLUMEN DEL REACTOR**

$$V = \frac{XV}{X}$$

$$V = \frac{332583030 \text{ mg ssv}}{3400 \text{ mg/l}}$$

$$V = 97818,53 \text{ lts}$$

$$V = 97,8 \text{ m}^3$$

$$97,8 \text{ m}^3 = l \cdot h \cdot a$$

$$97,8 \text{ m}^3 = l \cdot 3 \cdot 5$$

$$l = \frac{97,8}{15}$$

$$l = 6,52 \text{ m}$$

- **TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA**

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

$$T = \frac{97,8 \text{ m}^3}{34,90 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$T = 2,80 \text{ días}$$

- **PRODUCCIÓN DE LODO**

$$Px = \frac{(0,6 \text{ mg ssv/mgDBO})(39909 \text{ lt/dia})(21600 - 4927,5) \text{ mg/lt}}{1 + (0,05^{\text{d}-1})(4 \text{ dias})}$$

$$Px = 83145757,5 \text{ mg ssv/dia}$$

$$Px = 83,14 \text{ Kg ssv/dia}$$

- **PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DE DESECHO**

$$\text{LODOS SECOS} = \frac{Px}{\text{Porción volátil de sólidos (70\% asumido al inicio)}}$$

$$\text{LODOS SECOS} = \frac{83,14 \text{ Kg ssv/dia}}{0,7}$$

$$\text{LODOS SECOS} = 118,77 \text{ kg/dia}$$

- **CAUDAL DE LODOS**

$$QW = \frac{\text{Lodo Seco} \cdot (10^3)}{\text{Concentración de sólidos totales en lodo sedimentado (datos obtenidos en el lab)}}$$

$$QW = \frac{118,77 \text{ Kg ssv/dia} (10^3)}{37000 \text{ mg/lt}}$$

$$QW = 3,21 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$QW = 3210 \text{ lt/dia}$$

$$QW = 2,22 \text{ lt/minuto}$$

- **CAUDAL DE RECIRCULACIÓN DE LODOS**

$$QR = \frac{Q \cdot X}{Xr - X}$$

$$QR = \frac{24,25 \text{ lt/minuto} (3400 \text{ mg/lt})}{(0,8 - 59800) - 3400 \text{ mg/lt}}$$

$$QR = 1,85 \text{ lt/minuto}$$

$$QR = 111 \text{ lt/hora}$$

- **RELACION ALIMENTO MICROORGANISMO**

$$\frac{A}{M} = \frac{34,9 \frac{m^3}{\text{día}} \cdot 21600 \text{ mg/lt}}{97,8 m^3 \cdot 3000 \text{ mg/lt}}$$

$$\frac{A}{M} = 2,5 d^{-1}$$

- **DEMANDA DE OXÍGENO**

$$DO = 1,5 Q (SO - Se) - 1,42 Xr \cdot Qw$$

$$DO = 1,5(24,2 \text{ lt/minuto})(21600 - 4927,5) \text{ mg/lt} - 1,42(0,8 \cdot 59800)(2,22 \text{ lt/minuto})$$

$$DO = 455401,9 \text{ mg/minuto}$$

$$DO = 655,77 \text{ kg/día}$$

- **CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES**

$$Q_{AIRE} = \frac{DO}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = \frac{655,77 \text{ Kg dia}}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = 2355,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **CAUDAL DE AIRE REAL**

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{Q_{AIRE}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{2355,5 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 29444,08 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 29444088,3 \text{ lt}/\text{dia}$$

- **VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN**

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{S_o \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{29444088,3 \text{ lt}/\text{dia} \cdot (1000)}{(21600)(34909) \text{ lt}/\text{dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 39,04 \text{ m}^3 \text{ AIRE} / \text{Kg DBO}$$

- **VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA**

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{(S_o - S_e) \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{29444088,3 \text{ lt/dia} \cdot (1000)}{(21600 - 4927,5) \cdot (34909) \text{ lt/dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 50,58 \text{ m}^3 \text{ AIRE / Kg DBO}$$

- **EFICIENCIA EN REMOCION DE DBO TOTAL**

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o}$$

$$E = \frac{(21660 - 4927,5)}{21660}$$

$$E = 0,77 \quad 77,2\%$$

- **CÁLCULOS DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR**

$$DBO_{AFLUENTE} \left( \frac{mg}{lt} \right) \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \cdot Q \left( \frac{\text{m}^3}{d} \right)$$

$$21660 \frac{mg}{lt} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \cdot 34,9 \text{ m}^3/\text{dia} = 755,93 \text{ Kg DBO/dia}$$

$$755,93 \frac{DBO}{dia} \cdot 39,04 \text{ m}^3 \text{ AIRE / Kg DBO} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ minutos}} = 20,4 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

$$= 723,6 \text{ ft}^3/\text{minuto}$$

- **PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL AGUA**

$$P_{H2O} = d \cdot g \cdot h$$

$$P_{H2O} = 998,23 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,8 m/s^2 \cdot 3m$$

$$P_{H2O} = 29347 \text{ Pascales}$$

$$P_{H2O} = 4,25 \text{ psi}$$

- **PRESIÓN ABSOLUTA**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H2O}$$

$$P_{abs} = 14,69 \text{ psi} + 4,25 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 18,94 \text{ psi}$$

- **POTENCIA DEL COMPRESOR**

$$P = \frac{0,22Q}{\eta} \left\{ \left( \frac{P_{abs}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = \frac{0,22 \cdot (723,6 \text{ ft}^3/\text{minuto})}{0,8} \left\{ \left( \frac{18,9 \text{ psi}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = 14,4 \text{ HP}$$

## 2.4.8 CÁLCULOS DEL PROTOTIPO

- **CÁLCULO DEL CAUDAL QUE ALIMENTARÁ AL BIOREACTOR**

$$XV = V \cdot X$$

$$XV = 0,25m^3 \cdot 3400000 \cdot mg/m^3$$

$$XV = 850000 mg/m^3$$

$$XV = \frac{Qc \cdot Y \cdot Q(So - Se)}{1 + Kd \cdot Qc}$$

$$Q = \frac{XV(1 + Kd) \cdot Qc}{Qc \cdot Y(So - Se)}$$

$$Q = \frac{850 mg/lt \cdot (1 + 0,05d^{-1}) \cdot (4 dias)}{(4 dias) \cdot (0,6 mg ssv) \cdot (21600 - 4927,5)mg/lt}$$

$$Q = 0,094 lts/dia$$

- **BIOMASA EN EL REACTOR**

$$XV = \frac{(2 dias)(0,8 mg ssv/mgDBO) \cdot (0,09 lt/dia)(21600 - 4927,5)mg/lt}{1 + (0,05d^{-1})(2 dias)}$$

$$XV = 1194,06 mg ssv$$

$$XV = 0,0011 Kg ssv$$

- **VOLUMEN DEL REACTOR**

$$V = \frac{XV}{X}$$

$$V = \frac{1194,06 \text{ mg ssv}}{3400 \text{ mg/lit}}$$

$$V = 0,35 \text{ lts}$$

$$V = 0,00035 \text{ m}^3$$

- **TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA**

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

$$T = \frac{0,00035 \text{ m}^3}{0,00009 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}$$

$$T = 3,6 \text{ días}$$

- **PRODUCCIÓN DE LODO**

$$Px = \frac{(0,8 \text{ mg ssv/mgDBO})(39909 \text{ lt/dia})(21600 - 4927,5) \text{ mg/lit}}{1 + (0,05^{d-1})(2 \text{ dias})}$$

$$Px = 253479162,9 \text{ mg ssv/dia}$$

$$Px = 253,4 \text{ Kg ssv/dia}$$

- **PRODUCCION DE SOLIDOS TOTALES DE DESECHO**

$$LODOS SECOS = \frac{Px}{\text{Porción volátil de sólidos (70\% asumido al inicio)}}$$

$$LODOS SECOS = \frac{253,4 \text{ Kg ssv/dia}}{0,7}$$

$$LODOS SECOS = 362,11 \text{ kg/dia}$$

- **CAUDAL DE LODOS**

$$QW = \frac{\text{Lodo Seco} \cdot (10^3)}{\text{Concentración de sólidos totales en lodo sedimentado (datos obtenidos en el lab)}}$$

$$QW = \frac{362,11 \text{ Kg ssv/dia} (10^3)}{37000 \text{ mg/lit}}$$

$$QW = 9,78 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$QW = 9786,7 \text{ lt/dia}$$

$$QW = 6,79 \text{ lt/minuto}$$

- **CAUDAL DE RECIRCULACIÓN DE LODOS**

$$QR = \frac{Q \cdot X}{Xr - X}$$

$$QR = \frac{0,000062 \text{ lt/minuto} (3400 \text{ mg/lit})}{(0,8 - 59800) - 3400 \text{ mg/lit}}$$

$$QR = 0,0000047 \text{ lt/minuto}$$

- **RELACION ALIMENTO MICROORGANISMO**

$$\frac{A}{M} = \frac{0,00009 \frac{m^3}{dia} \cdot 21600mg/lt}{0,25m^3 \cdot 3000mg/lt}$$

$$\frac{A}{M} = 0,00259d^{-1}$$

- **DEMANDA DE OXÍGENO**

$$DO = 1,5 Q (SO - Se) - 1,42Xr \cdot Qw$$

$$DO =$$

$$1,5(24,24 \text{ lt/minuto})(21600 - 4927,5)mg/lt - 1,42(0,8 \cdot 59800)(6,79lt/minuto)$$

$$DO = 144948,4 \text{ mg/minuto}$$

$$DO = 208,7 \text{ kg/dia}$$

- **CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES**

$$Q_{AIRE} = \frac{DO}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = \frac{208,7 \text{ Kg dia}}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = 749,7 \text{ m}^3/dia$$

- **CAUDAL DE AIRE REAL**

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{Q_{AIRE}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{749,7 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 9371,6 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 9371663,7 \text{ lt}/\text{dia}$$

- **VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN**

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{S_o \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{9371663,7 \text{ lt}/\text{dia} \cdot (1000)}{(21600)(34909) \text{ lt}/\text{dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 12,4 \text{ m}^3 \text{ AIRE} / \text{Kg DBO}$$

- **VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA**

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{(S_o - S_e) \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{9371663,7 \text{ lt}/\text{dia} \cdot (1000)}{(16672,5) \cdot (34909) \text{ lt}/\text{dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 16,10 \text{ m}^3 \text{ AIRE} / \text{Kg DBO}$$

- **EFICIENCIA EN REMOCION DE DBO TOTAL**

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o}$$

$$E = \frac{(21660 - 4927,5)}{21660}$$

$$E = 0,77 \quad 77,2\%$$

- **CÁLCULOS DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR**

$$DBO_{AFLUENTE} \left( \frac{mg}{lt} \right) \cdot \frac{1 Kg}{1000000 mg} \cdot \frac{1000 lt}{1 m^3} \cdot Q \left( \frac{m^3}{d} \right)$$

$$21660 \frac{mg}{lt} \cdot \frac{1 Kg}{1000000 mg} \cdot \frac{1000 lt}{1 m^3} \cdot 34,9 m^3/dia = 753,84 Kg DBO/dia$$

$$753,84 \frac{DBO}{dia} \cdot 12,4 m^3 AIRE/Kg DBO \cdot \frac{1 dia}{24 h} \cdot \frac{1 h}{60 minutos} = 6,49 m^3/minuto$$

$$= 229,1 ft^3 /minuto$$

- **PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL AGUA**

$$P_{H_2O} = d \cdot g \cdot h$$

$$P_{H_2O} = 998,23 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,8 m/s^2 \cdot 0,3m$$

$$P_{H_2O} = 2934 Pascales$$

$$P_{H_2O} = 0,42 psi$$

- **PRESIÓN ABSOLUTA**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H_2O}$$

$$P_{abs} = 14,69 \text{ psi} + 0,42 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 15,1 \text{ psi}$$

- **POTENCIA DEL COMPRESOR**

$$P = \frac{0,22Q}{\eta} \left\{ \left( \frac{P_{abs}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = \frac{0,22 \cdot (229,1 \text{ ft}^3/\text{minuto})}{0,8} \left\{ \left( \frac{15,1 \text{ psi}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = 0,31 \text{ HP}$$

## 2.4.9 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL TANQUE SEDIMENTADOR

Tomamos el 65% del tanque aireador.

Asumimos valores:  $l = 0.80m$   $a = 0.40m$   $h = 0.40m$   $h_{1=i}$

$$VT = V1 + \frac{V2}{2}$$

$$VT = \frac{l * a * h}{1} + \frac{l * a * h}{2}$$

$$VT = \frac{2(l * a * h) + l * a * h_1}{2}$$

$$2VT = 2 * l * a * h + l * a * h_1$$

$$2VT = l * a (2h + h_1)$$

$$2h + h_1 = \frac{2VT}{l * a}$$

$$h_1 = \frac{2VT}{l * a} - 2h$$

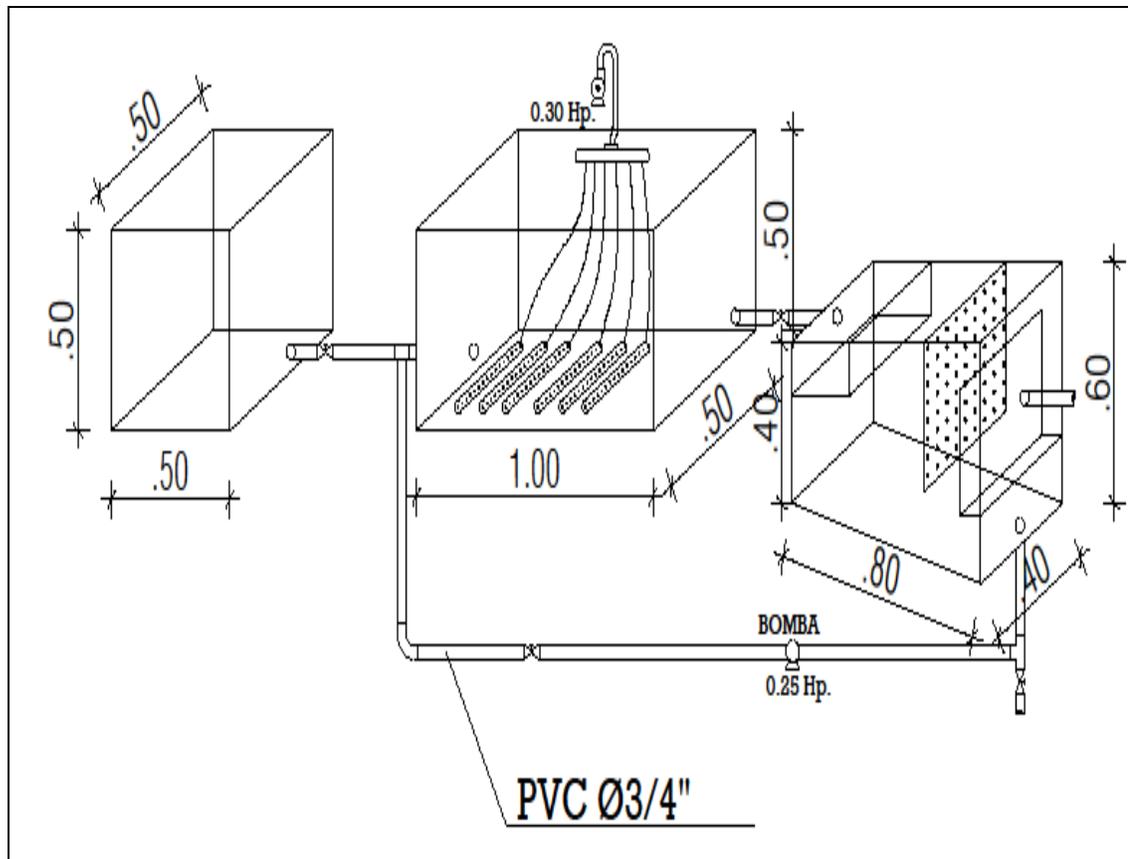
$$h_1 = \frac{2(16m^3)}{0.80m * 0.40m} - 2(0.40)m$$

$$h_1 = 0.2m$$

#### **2.4.10 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA**

Los valores asumidos en el diseño de la planta de tratamiento se los tomo con fines didácticos económicos y de espacio.

Para la construcción de la planta se decidió hacerlo en vidrio de 6 líneas de espesor ya que al perforarlos para anclar las tuberías a los vidrios se corría el riesgo de quiebre al momento de la puesta en marcha por la gran presión que ejerce el agua sobre las paredes de los tanques.



**Figura 16: Dibujo del prototipo en AutoCAD.**

**Fuente: El autor**

Se realizó el diseño de la planta de tratamiento en el programa AutoCAD y a partir de este se determinó los materiales que se iban a utilizar para el ensamble y construcción del prototipo los materiales serán descritos a continuación:

- ✓ 15 Planchas de vidrio (6 líneas de espesor)
- ✓ 5 metros de Tubos de plástico PVC de  $\frac{3}{4}$
- ✓ 3 Planchas de madera antihumedad
- ✓ 20 metros de varillas metálicas para la construcción de la mesa
- ✓ 3 Válvulas esféricas.
- ✓ 1 Codo de  $\frac{3}{4}$
- ✓ 3 universales de  $\frac{3}{4}$
- ✓ 1 Acople para tubería de  $\frac{3}{4}$  “

- ✓ Teflón
- ✓ Permatex
- ✓ Mangueras de presión (4 m)
- ✓ 6 Piedras difusoras de aire
- ✓ 2 Compresores de 90 watts
- ✓ 1 Bomba de agua de 1/2 HP
- ✓ 1 Neplo corrido
- ✓ 1 valvula check

Con los materiales descritos se procedió al ensamble de los tanques que lo realizo una persona con experiencia en construcción de peceras. La construcción de la mesa donde van a apoyados los tanques la realizo una persona con conocimientos en mecánica y soldadura, la mesa consta de tablonces resistentes a la humedad.

El tanque homogeneizador y el tanque aireador están colocados uno a lado de otro a una distancia de 25 centímetros donde se encuentra una llave de paso que controla el caudal que va hacia el tanque aireador. El Tanque sedimentador se encuentra a un nivel más bajo que los otros dos tanques para que el agua salga del tanque aireador y por medio de gravedad caiga en el sedimentador.

Como se menciona anteriormente toda la tubería que va conectada a los tanques es de 3/4 pulgada y la conexión a la bomba que recircula los lodos es de 1 pulgada.

Una vez finalizada la construcción de la planta se procedió al desmonte de los tres tanques y a desenroscar las tuberías conectadas a los vidrios para así ser trasladada al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo donde se armó nuevamente el prototipo para su puesta en marcha.

#### **2.4.11 PRUEBAS DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO**

Antes de empezar con el tratamiento de las aguas residuales de la quesera se realizó pruebas con agua potable con el fin de verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos instalados, es así que al colocar el agua dentro de los tanques se comprobó que no existía ninguna filtración, pero al momento de hacer pasar el agua de un tanque al otro se evidencio filtraciones en las uniones de los tubos en especial al hacer funcionar la bomba que recircula los lodos, ya que la presión que se ejerce separo la uniones, de inmediato se tomaron las medidas respectivas y se solucionó dichos inconvenientes.

#### **2.4.12 PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO**

Una vez recogidas las muestras en 6 tanques de 30 litros en la descarga de la quesera se colocó el agua cruda en el tanque homogeneizador para que así se iguale el DBO y DQO que puede variar en las diferentes tomas, sabiendo que este tanque también nos servirá como tanque predecantador ya que aquí sedimenta pequeñas cantidades de queso, que no nos conviene que pasen al tratamiento por aireación.

Una vez el agua pasa al tanque aireador los compresores son encendidos y el agua empieza a tratarse, en los cálculos se determinó que el tiempo óptimo de aireación es de 3,6 días, pero se empezó tratando el agua por 12 horas, 24 horas, 48 horas y por ultimo por 84 horas.

Al finalizar cada uno de los tiempos de retención en el tanque aireador el agua tratada pasa al tanque sedimentador donde se comprobó que el tiempo de retención para que los flocs formados sedimenten es de 45 minutos.

- Cuando el tiempo de retención fue de 12 horas hubo una disminución del DQO de 25040 a 24600 mg/l que es una disminución demasiado pequeña con una formación de lodos activos casi nula (ver anexo5).

- Cuando el tiempo de retención fue de 24 horas el DQO tuvo una disminución de 25040 a 16700 mg/l y con presencia significativa de lodos activos (ver anexo6).
- Cuando el tiempo de retención fue de 48 horas el DQO bajo hasta 2550 mg/l, y se procedió hacer la primera recirculación de lodos por que se evidencio un aumento considerable de los mismos ( ver anexo 7). Esta nueva agua cruda mezclada con los lodos recirculados en un tiempo de solo 24 horas de retención llegaron a un DQO de 1650 mg/l ahorrándonos un día de retención hidráulica ( ver anexo 8).
- Cuando el tiempo de retención fue de 3.6 días que es el tiempo óptimo para la correcta depuración de estas aguas, y los lodos formados fueron recirculados el DQO bajo hasta 410 mg/l en un tiempo de 72 horas ahorrándonos medio día de retención hidráulica cumpliendo así con el primer parámetro permisible establecido por el TULAS para descargas en alcantarillas (ver anexo 9).

Finalizadas las 72 horas de retención hidráulica con recirculación y habiendo llegado al DQO deseado se procedió a realizar los análisis del parámetro más importante para verificar la contaminación de las aguas residuales que es el  $DBO_5$ .

Los resultados del  $DBO_5$  se obtuvo en un tiempo de 5 días teniendo un resultado de 59 mg/l superando nuestras expectativas y cumpliendo así con los dos parámetros más importantes establecidos por la ley para descarga en alcantarilla ( ver anexo 9).

También se analizó otros parámetros importantes que establece la ley como son sólidos y aceites y grasas (ver anexo 9) obteniendo los siguientes resultados:

Sólidos en el agua cruda		Sólidos en el agua tratada	
S. totales	59800 mg/l	S. totales	730 mg/l
S. suspendidos	3400 mg/l	S. suspendidos	132 mg/l
S. sedimentables	4142 mg/l	S. sedimentables	0.1 mg/l
Aceites y grasas	-----	Aceites y grasas	8.10 mg/l

**Cuadro 11: Cuadro comparativo del agua cruda y el agua tratada.  
Fuente: el autor**

### **2.4.13 PARÁMETROS CONTROLADOS IN-SITU PARA LA CORRECTA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Para que no exista contratiempos en el proceso de depuración de las aguas residuales se necesita de un estricto control de los parámetros que condicionan el desarrollo y metabolismo de los microorganismos presentes en el agua como son: pH, temperatura y oxígeno disuelto, que fueron controlados cada 2 horas con un multiparametros HACH.

pH: este parámetro se lo controlo mediante la adición de óxido de calcio ya que el suero de leche es ácido y los microorganismos no trabajan en un pH demasiado ácido o un pH demasiado básico, de esta manera mediante la adición de óxido de calcio se llega a un pH neutro de 7 donde las bacterias se desarrollan con facilidad.

Temperatura: la temperatura no debe estar por debajo de los 15 grados centígrados ya que los microorganismos trabajan con lentitud, ni tampoco superar una temperatura de 30 grados centígrados ya que se descubrió que en el caso del suero de leche si la aireación empieza cuando el agua cruda está a más de 30 grados ocurre un proceso de formación de quesillo y natas en la parte superior del agua que se está tratando dañando la muestra y paralizando todo el proceso de tratamiento.

Oxígeno disuelto: la clave para el desarrollo de microorganismos aerobios es la correcta inyección de oxígeno en el agua ya que de esta manera los microorganismos

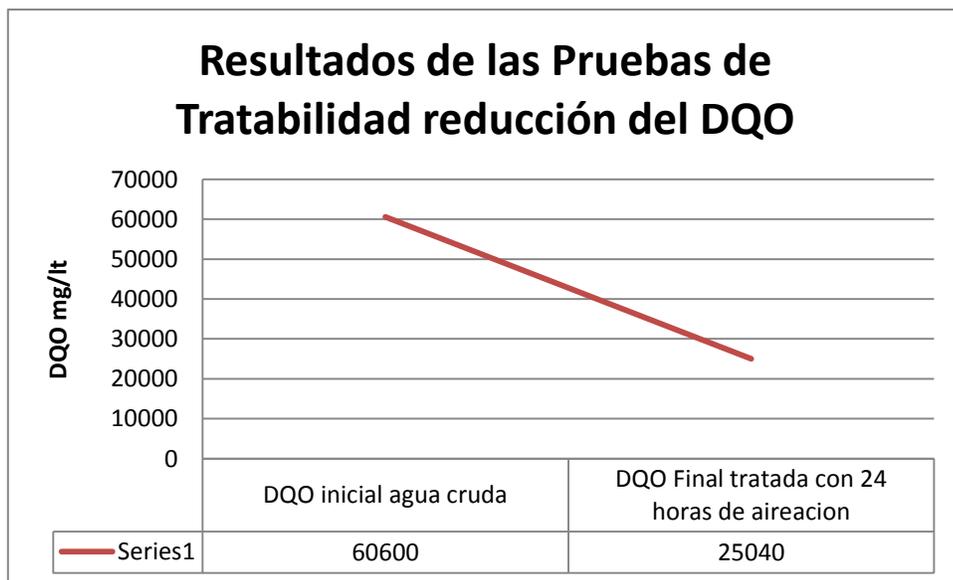
se desarrollan con facilidad logrando descomponer la materia orgánica presente en el agua, cabe indicar que uno de los parámetros que condicionan el aumento o disminución de oxígeno disuelto es la temperatura, que es inversamente proporcional al OD.

El oxígeno disuelto medido del agua residual es casi nulo siendo 0.08 mg/l pero en 2 horas de aireación se incrementa hasta un valor máximo de 5.51 mg/l

## 2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

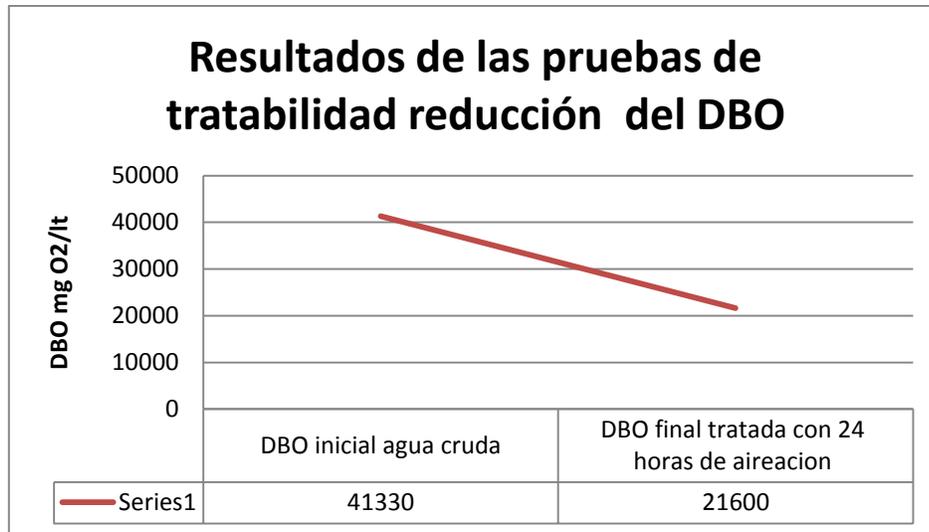
En los resultados de las pruebas de tratabilidad se evidencio el considerable descenso del DQO y el DBO, y también el aumento de los Sólidos Totales, Solidos Suspendedos y Solidos Sedimentables en el agua que se trataba en la cuba de aireación obteniendo los siguientes datos:

- En el cuadro 12 se evidencia una reducción del DQO al suministrar 24 horas de aireación teniendo un DQO inicial de 60600 y un DQO final 25040.



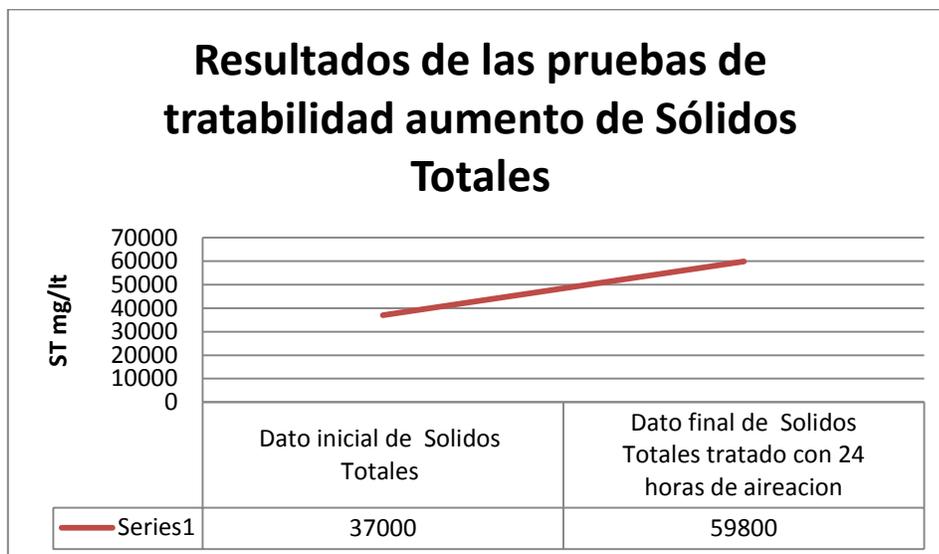
**Cuadro 12: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad reducción del DQO**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 13 se evidencia una reducción del DBO al suministrar 24 horas de aireación teniendo un DBO inicial de 41330 y un DBO final 21600.



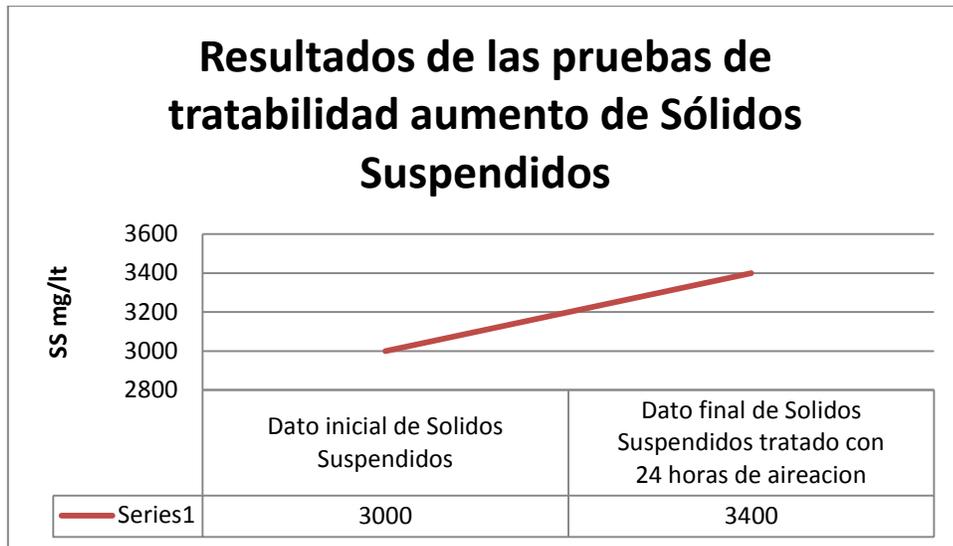
**Cuadro 13: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad reducción del DBO**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 14 se evidencia un aumento de los sólidos totales al finalizar las 24 horas de aireación siendo el valor inicial de 37000mg/lt y el valor final 59800mg/lt.



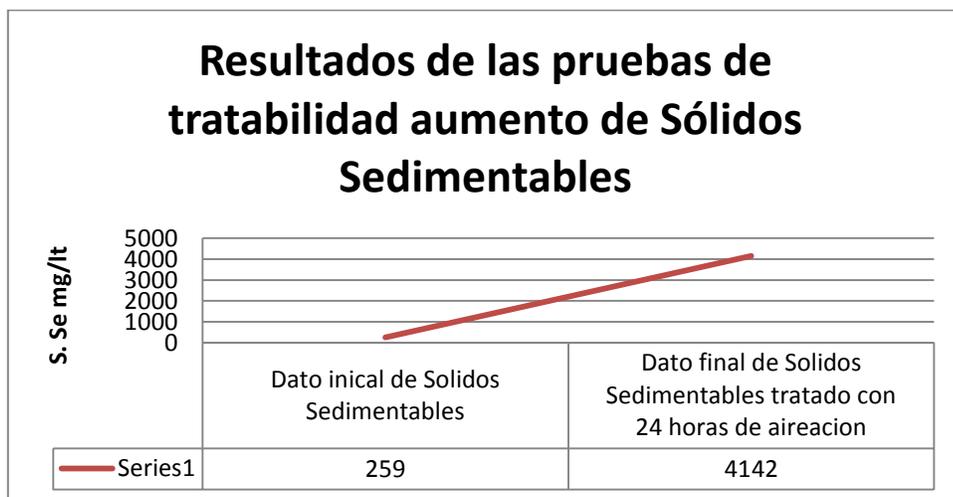
**Cuadro 14: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Totales.**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 15 se evidencia el aumento de sólidos suspendidos al finalizar las 24 horas de aireación siendo el valor inicial de 3000mg/lit y el valor final de 3400mg/lit.



**Cuadro 15: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Suspendidos.**  
Fuente: El autor

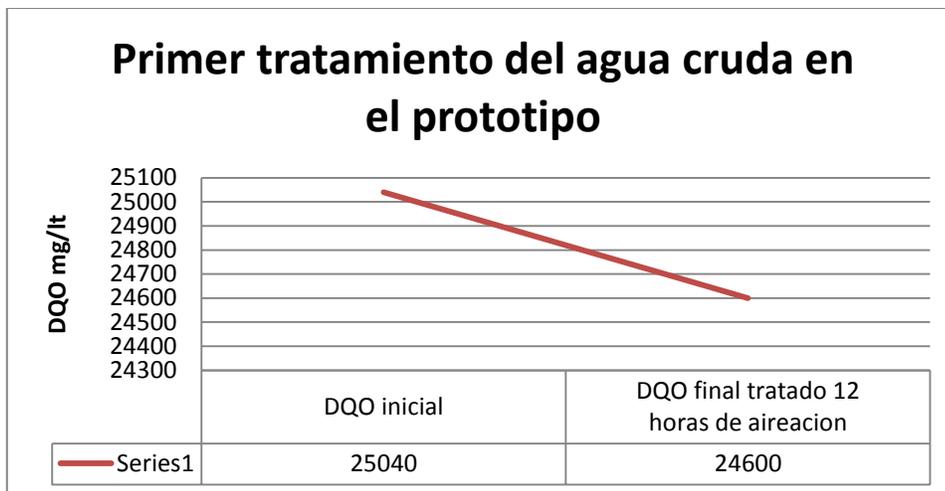
- En el cuadro 16 se evidencia el aumento de sólidos sedimentables al finalizar las 24 horas de aireación siendo el valor inicial de 259mg/lit y el valor final de 4142mg/lit.



**Cuadro 16: Resultados de las Pruebas de Tratabilidad aumento de Sólidos Sedimentables.**  
Fuente: El autor

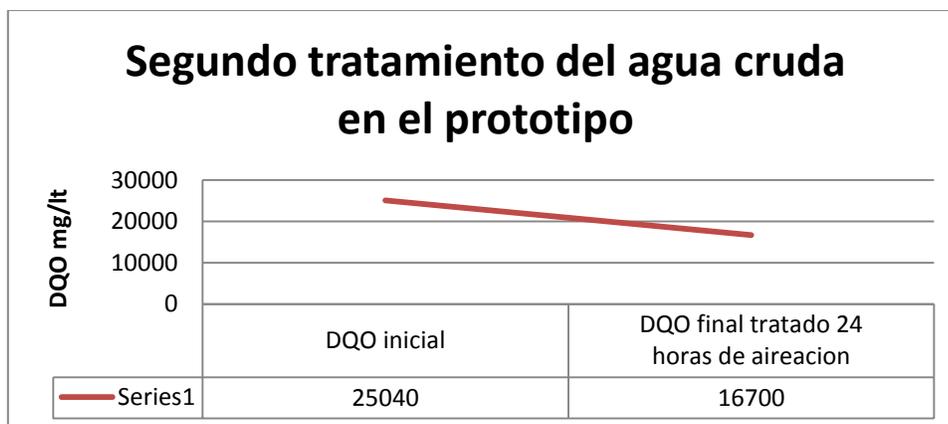
Una vez puesto en marcha el prototipo se realizaron tratamientos al agua cruda con diferentes tiempos de retención hidráulica obteniendo los siguientes resultados:

- En el cuadro 17 se evidencia que cuando el tiempo de retención fue de 12 horas hubo una disminución del DQO de 25040 a 24600 mg/l que es una disminución demasiado pequeña con una formación de lodos activos casi nula (ver anexo5).



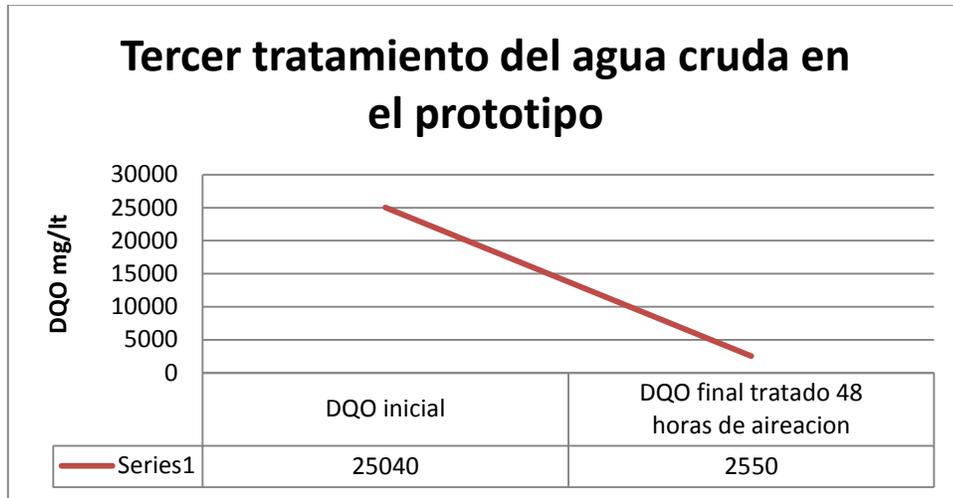
**Cuadro 17: Reducción del DQO en el primer tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 18 se evidencia que cuando el tiempo de retención fue de 24 horas el DQO tuvo una disminución de 25040 a 16700 mg/l y con presencia significativa de lodos activos (ver anexo 6).

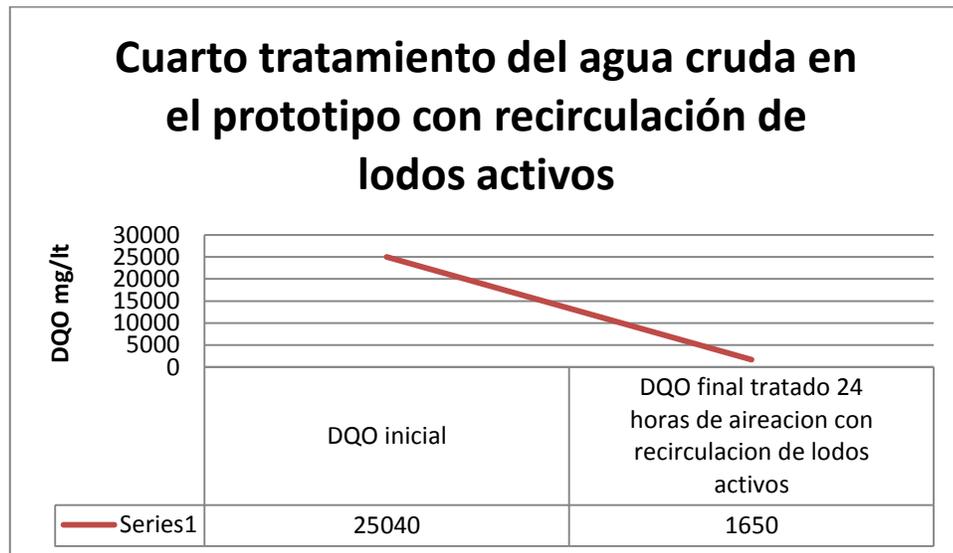


**Cuadro 18: Reducción del DQO en el segundo tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 19 y 20 de evidencia que cuando el tiempo de retención fue de 48 horas el DQO bajo hasta 2550 mg/l y se procedió hacer la primera recirculación de lodos por que se evidencio un aumento considerable de los mismos ( ver anexo 7). Esta nueva agua cruda mezclada con los lodos recirculados en un tiempo de solo 24 horas de retención llegaron a un DQO de 1650 mg/l ahorrándonos un día de retención hidráulica ( ver anexo 8).

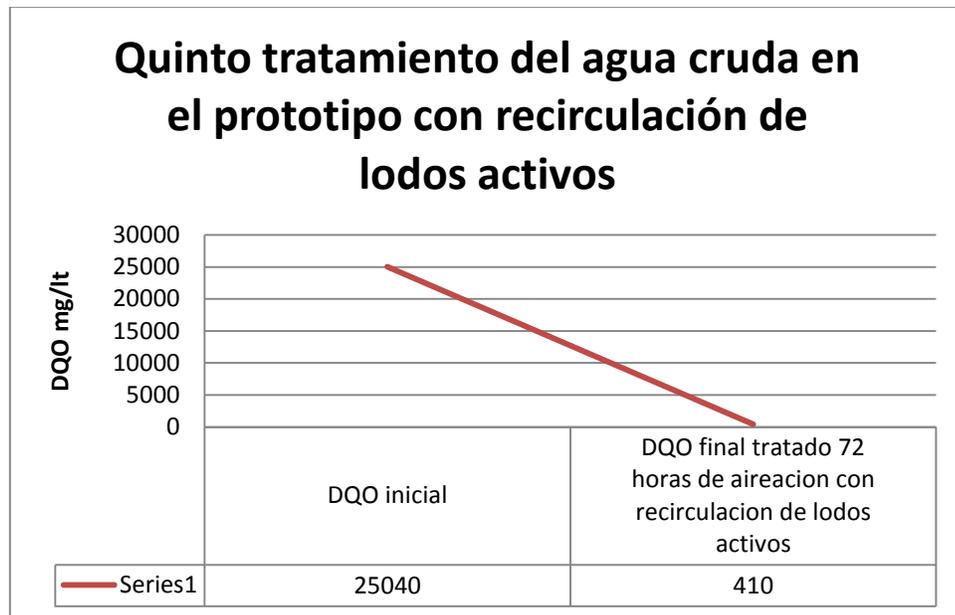


**Cuadro 19: Reducción del DQO en el tercer tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor



**Cuadro 20: Reducción del DQO en el cuarto tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor

- En el cuadro 21 se evidencia que cuando el tiempo de retención fue 3.6 días que es el tiempo óptimo para la correcta depuración de estas aguas, y los lodos formados fueron recirculados el DQO bajo hasta 410 mg/lt en un tiempo de 72 horas ahorrándonos medio día de retención hidráulica cumpliendo así con el primer parámetro permisible establecido por el TULAS para descargas en alcantarillas (ver anexo 9).



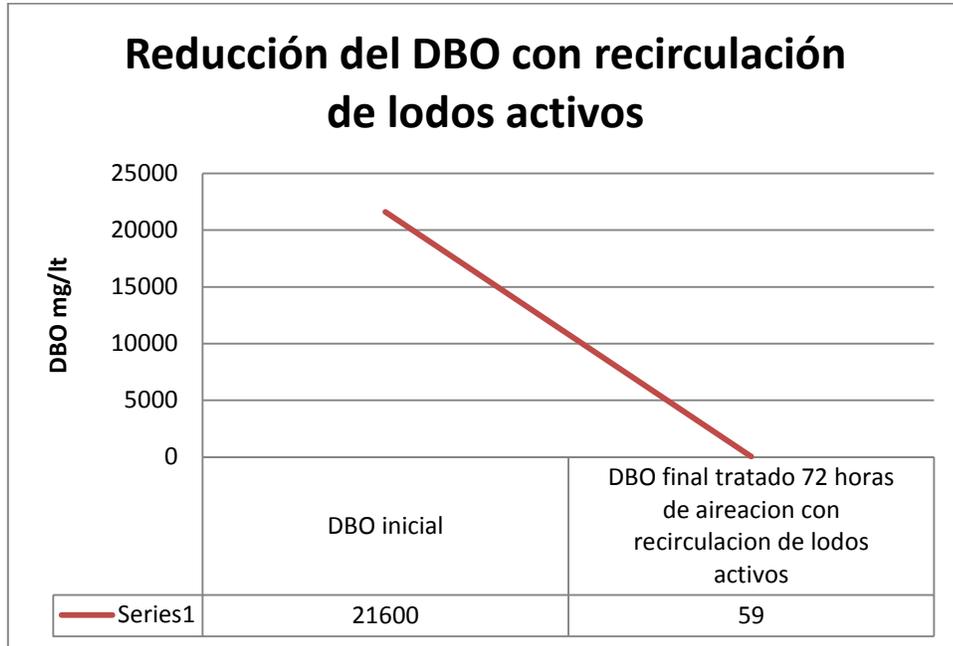
**Cuadro 21: Reducción del DQO en el quinto tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor

El DBO es un parámetro medido en el laboratorio en un tiempo de 5 días este parámetro al igual que el DQO nos indica el nivel de contaminación que posee un cierto tipo de agua residual.

Nuestro prototipo fue diseñado principalmente para la reducción del DBO ya que este parámetro estuvo presente en la mayoría de cálculos como dato fundamental para el diseño de la planta de tratamiento.

A diferencia del DQO la reducción del DBO que es (Demanda Biológica de Oxígeno) fue mayor ya que la planta fue diseñada para la producción de bacterias teniendo como resultado lo siguiente (ver anexo 9):

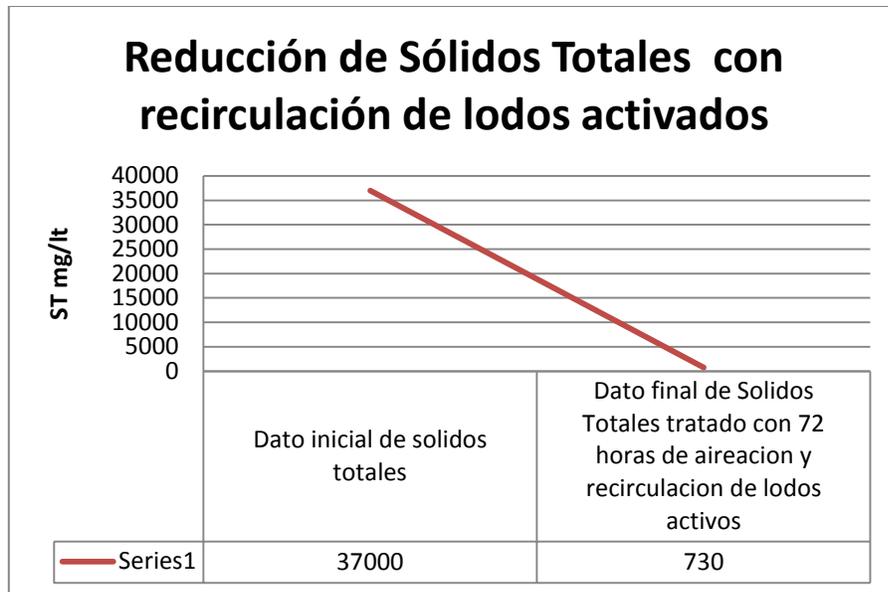
- En el cuadro 22 se evidencia la reducción del DBO que tenía un valor inicial de 21600mg/lit y con el tratamiento llegó a un valor de 59mg/lit.



**Cuadro 22: Reducción del DBO con 72 horas de tratamiento del agua cruda en el prototipo**  
Fuente: El autor

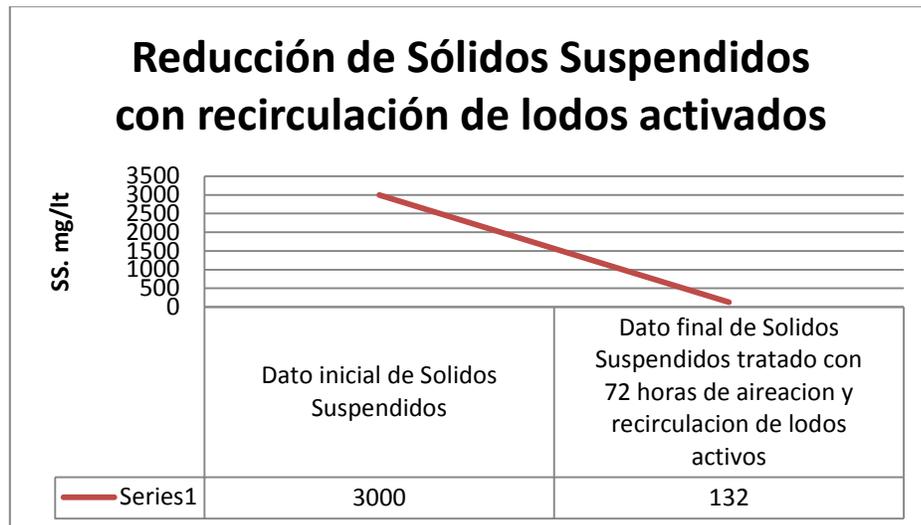
Dentro de los parámetros que nos exige la ley para descargas en alcantarillas de aguas residuales están los Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos y Sólidos Sedimentables, estos parámetros tuvieron una reducción considerable obteniendo los siguientes resultados (ver anexo 9):

- En el cuadro 23 se evidencia la reducción de sólidos totales teniendo un valor inicial de 37000mg/lit hasta un valor final de 730mg/lit después de 72 horas de tratamiento con recirculación de lodos.



**Cuadro 23: Reducción de Sólidos Totales con 72 horas de aireación.**  
Fuente: El autor

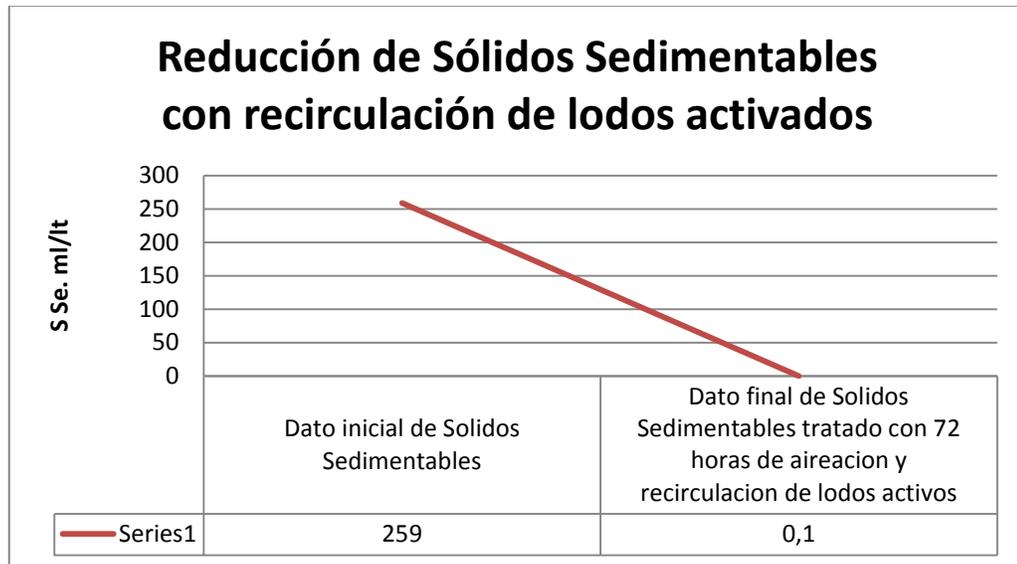
- En el cuadro 24 se evidencia la reducción de sólidos suspendidos teniendo un valor inicial de 3000mg/Lt hasta un valor final de 132mg/Lt después de 72 horas de tratamiento con recirculación de lodos.



**Cuadro 24: Reducción de Sólidos Suspendidos con 72 horas de aireación.**  
Fuente: El autor

La reducción de sólidos sedimentables fue total poniendo así en evidencia el correcto funcionamiento del tanque sedimentador.

- En el cuadro 25 se evidencia la reducción de sólidos sedimentables teniendo un valor inicial de 259mg/l hasta un valor final de 0.1mg/l después de 72 horas de tratamiento con recirculación de lodos.

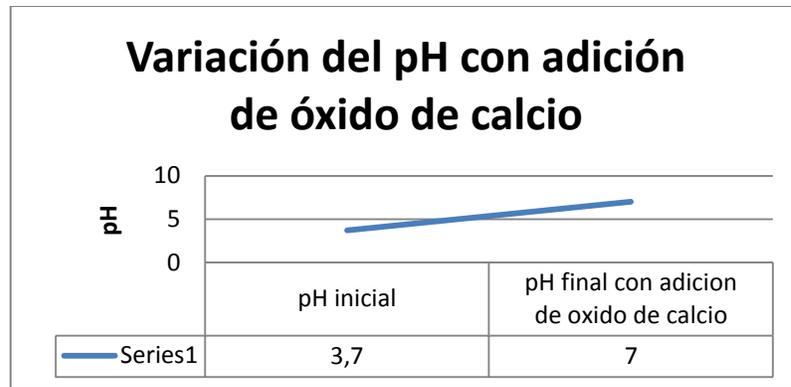


**Cuadro 25: Reducción de Sólidos Sedimentables con 72 horas de aireación.**  
Fuente: El autor

Los parámetros que fueron controlados para el correcto desarrollo de los microorganismos depuradores presentes en las aguas también presentaron cambios, dependiendo del estricto control que se le daba al agua cruda presente en el tanque aireador; las variaciones fueron las siguientes:

El agua residual de la producción del queso tenía un pH demasiado ácido que imposibilitaba el correcto desarrollo de las bacterias el cual se lo controló con óxido de calcio subiendo el pH de la siguiente manera:

- En el cuadro 26 se observa la estabilización del pH al adicionar óxido de calcio hasta llegar a un valor de 7.

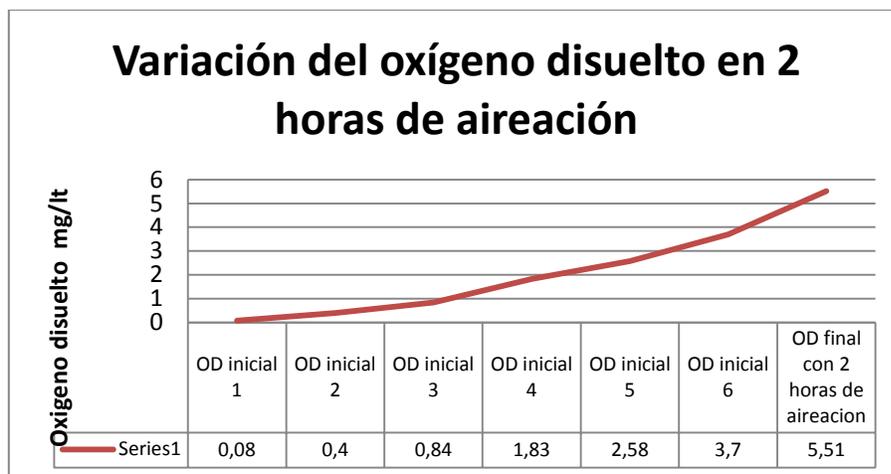


**Cuadro 26: Variación del pH con adición de óxido de calcio.**  
Fuente: El autor

El oxígeno disuelto en el agua residual de la producción de quesos antes del tratamiento con aireación presentaba una concentración de OD demasiado baja, donde no se pueden desarrollar los microorganismos aerobios responsables de la depuración del agua residual.

Al suministrar oxígeno en el agua el OD aumentó considerablemente en un lapso de dos horas obteniendo los siguientes resultados:

En el cuadro 27 se observa el incremento del oxígeno disuelto en 2 horas de aireación llegando a un valor de 5.51mg/l.



**Cuadro 27: Variación de oxígeno disuelto en 2 horas de aireación.**  
Fuente: El autor

### CAPITULO III

#### 3. RESULTADOS

##### 3.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL ANTES DEL TRATAMIENTO.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	----	3.7
OD	mg/lt	0.8
T°	°C	21
DBO5	mg/lt	41330
DQO	mg/lt	60600
Solidos Totales	mg/lt	37000
Solidos Suspendidos	mg/lt	3000
Solidos Sedimentables	ml/lt	259
Coliformes Totales	UFC/100 ml	135
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	93

**Cuadro 28: Resultados de la caracterización del agua residual antes del tratamiento.**

**Fuente: El autor**

Al observar la caracterización de este tipo de aguas, gran parte corresponde al suero de leche eliminado en la etapa de desuerado, se observa que la carga contaminante es muy alta teniendo un DBO de 41330 mg/lt, y esta es descargada a los terrenos y ríos más cercanos.

### 3.2 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE DISEÑO DEL AIREADOR A ESCALA REAL

TANQUE AIREADOR A ESCALA REAL		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Caudal	34.9	$m^3$
DBO efluente	4927.5	mg/lt
Biomasa en el reactor	332.58	Kg ssv
Volumen del reactor	97.8	$m^3$
Tiempo de retención hidráulica	2.80	días
Producción de lodo	83.14	Kg ssv/ día
Producción de solidos totales de desecho	118.77	Kg/día
Caudal de lodos	3210	lt/día
Caudal de recirculación de lodos	1.82	lt/minuto
Relación alimento microorganismo	2.5	$d^{-1}$
Demanda de oxigeno	655.77	Kg/día
Caudal de aire en condiciones normales	2355.5	$\frac{m^3}{dia}$

Caudal de aire real	29444.08	$\frac{m^3}{dia}$
Volumen de aire requerido por unidad de DBO aplicada al tanque de aireación	39.04	$\frac{m^3 \text{ aire}}{kg \text{ DBO}}$
Eficiencia en remoción de DBO total	77.2	%
Presión hidrostática del agua	4.25	Psi
Presión absoluta	18.9	Psi
Potencia del compresor	14.4	HP

**Cuadro 29: Resultados de los cálculos de diseño del aireador a escala real**  
Fuente: El autor

### 3.3 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO

<b>TANQUE HOMOGENEIZADOR</b>		
Volumen	0.50	$m^3$
Largo	50	Centímetros
Ancho	50	Centímetros
Altura	50	Centímetros

**Cuadro 30: Resultados de los cálculos de diseño del tanque homogeneizador.**  
Fuente: El autor

<b>TANQUE AIREADOR</b>		
Caudal	0.094	lt/día
Biomasa en el reactor	0.0011	Ks/ ssv
Volumen del reactor	0.25	$m^3$
Tiempo medio de retención hidráulica	3.6	días
Caudal de recirculación	0.0000047	lt/min
Eficiencia en remoción de DBO total	77	%
Presión hidrostática del agua	0.42	Psi
Presión Absoluta	15	Psi
Potencia del compresor	0.31	HP

**Cuadro 31: Resultados de los cálculos de diseño del tanque aireador del prototipo.**  
Fuente: El autor

<b>TANQUE SEDIMENTADOR</b>		
Volumen	0.16	$m^3$
Largo	80	Centímetros
Ancho	40	Centímetros
Altura 1	40	Centímetros
Altura 2	60	Centímetros

**Cuadro 32: Resultados de los cálculos de diseño del tanque sedimentador.**  
Fuente: El autor

### 3.4 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DURANTE EL TRATAMIENTO

<b>REDUCCIÓN DEL DQO DURANTE LOS DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA</b>		
DQO del agua cruda	TRH	DQO final del agua tratada
25040 mg/l	12 horas	24600 mg/l
25040 mg/l	24 horas	16700 mg/l
25040 mg/l	48 horas	2550 mg/l
25040 mg/l	24 horas con recirculación de lodos activos	1650 mg/l
25040 mg/l	72 horas con recirculación de lodos activos	410 mg/l

**Cuadro 33: Resultados de los parámetros durante el tratamiento**  
Fuente: El autor

<b>REDUCCIÓN DEL DBO</b>		
DBO del agua cruda	TRH	DBO final del agua tratada
21600 mg/l	72 con recirculación de lodos activos	59 mg/l

**Cuadro 34: Resultado de la reducción del DBO**  
Fuente: El autor

<b>REDUCCIÓN DE SÓLIDOS</b>		
Sólidos en el agua cruda	TRH	Sólidos en el agua tratada
S. Totales 59800 mg/l	72 con recirculación de lodos activos	S. totales 730 mg/l
S. Suspendidos 3400 mg/l	72 con recirculación de lodos activos	S. suspendidos 132 mg/l
S. Sedimentables 4142 mg/l	72 con recirculación de lodos activos	S. sedimentables 0.1 mg/l
Aceites y grasas ---- -----	72 con recirculación de lodos activos	Aceites y grasas

**Cuadro 35: Resultados de la reducción de sólidos.**

**Fuente: El autor**

<b>PARÁMETROS CONTROLADOS EN EL LABORATORIO PARA EL CORRECTO DESARROLLO DE LOS MICROORGANISMOS</b>		
Parámetros iniciales	Tipo de control	Parámetros controlado
pH 3.7	Adición de óxido de calcio	pH 7
OD 0.8 mg/l	Suministrar aireación	OD 5.51 mg/l
Temperatura 25°C	Suministrar aireación	Temperatura 20°C

**Cuadro 36: Parámetros controlados en el laboratorio para el correcto desarrollo de los microorganismos**

**Fuente: El autor**

## CAPITULO IV

### 4. DISCUSIÓN

Los datos principales y los más importantes para el diseño del prototipo fueron los obtenidos en la caracterización del agua cruda, y también del agua obtenida de las pruebas de tratabilidad, ya que en las fórmulas que se aplica para el diseño del tanque aireador se necesita saber cuánto aumentaron los sólidos suspendidos durante el proceso de tratamiento con aireación y que cantidad de solidos suspendidos había en el agua cruda.

Otro de los datos fundamentales para el diseño del prototipo fue el DBO del agua cruda ya que con este dato se empezó a realizar los cálculos obteniendo el DBO DEL EFLUENTE, asumiendo un cierto porcentaje de efectividad en el tratamiento, empezando así una secuencia de ecuaciones que darán como resultado final la potencia del compresor que vamos a necesitar para que el agua se trate de una manera eficiente.

El tratamiento se lo realizo con diferentes tiempos de retención hidráulica, y para verificar que se estaba obteniendo resultados positivos, se trabajó midiendo un solo parámetro, que es el DQO ya que este es muy fácil y rápido hacerlo en el laboratorio y en apenas dos horas se obtiene el resultado del agua tratada lo que no ocurre con el DBO que para obtener resultados de este parámetro se necesita un tiempo de cinco días para la entrega del informe de laboratorio.

Al obtener un dato de DQO del agua tratada se asumía el resultado aproximado del DBO sin haber caracterizado el agua, ya que el DBO es aproximadamente la mitad del DQO en aguas residuales industriales, sabiendo que los parámetros permisibles para DQO es de 500 mg/lit y para DBO es de 250 mg/lit.

Cuando se llegó a un valor de DQO inferior a 500 mg/lit se asumió que el DBO tendría que ser aproximadamente la mitad y se hizo la primera caracterización obteniendo un resultado demasiado satisfactorio de 59 mg/lit, evidenciando así el correcto funcionamiento del prototipo y la degradación de casi toda la materia orgánica presente en el agua residual.

En la caracterización de los sólidos suspendidos se determinó que estos estaban dentro de los parámetros permisibles, pero aun así su valor era alto y esta era la causa por la que el agua después del tratamiento seguía un poco turbia, y también razón por la cual el DQO no bajo más y se mantuvo en su valor de 410 mg/lit por que la materia que quedó suspendida era materia inorgánica no asimilable para los microorganismos propios del agua residual.

Y en lo que tiene que ver con los sólidos sedimentables se obtuvo un resultado de 0.1 mg/lit ya que todo se quedó sedimentado en el tanque sedimentador.

PARÁMETROS OBTENIDOS EN EL PROTOTIPO		PARÁMETROS PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL TULSMA	
DBO	59 mg/lit	DBO	250 mg/lit
DQO	410 mg/lit	DQO	500 mg/lit
Solidos Totales	730 mg lit	Solidos Totales	1600mglt
Solidos Suspendidos	132mg/lit	Solidos Suspendidos	220mg/lit
Solidos Sedimentables	0.1 ml/lit	Solidos Sedimentables	20 ml/lit

**Cuadro 37: Cuadro comparativo del agua tratada con los parámetros permisibles establecidos por el TULSMA.  
Fuente: El autor**

En el cuadro 37 se observa la comparación de los datos obtenidos en el tratamiento de las aguas residuales con los valores máximos permisibles que establece el TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO. AMBIENTE, (TULSMA) habiendo así cumplido con los parámetros que establece la ley para descargar aguas residuales en alcantarillas.

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

En la caracterización inicial de las descargas de la quesera Isabel se logró determinar la carga contaminante presente en dichas aguas obteniendo los siguientes valores de DQO (25040 mg/l) y DBO (21600 mg/l), al observar un valor alto de DBO se sabe que la carga orgánica presente en el agua es alta, y esta al ser depositada en ríos o terrenos si un tratamiento previo produce malos olores por su proceso de putrefacción o descomposición.

Los datos de la caracterización inicial fueron comparados con los parámetros permisibles establecidos por la ley donde se establece que para descargar aguas residuales en un sistema de alcantarillado los valores permisibles son DQO (500 mg/l) y DBO (250 mg/l), comprobando así que no se cumple con lo establecido en el TULSMA.

Se investigó en diferentes bibliografías el mejor método de depuración que tenga menos impacto al ambiente como es la bioremediación, este método consistía en suministrar oxígeno al agua para así poder activar a los microorganismos presentes en la misma que son los encargados de depurar aguas residuales. Para comprobar que este método da resultado se realizó pruebas de tratabilidad en una cuba de aireación en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, obteniendo resultados favorables en la reducción de la carga contaminante.

Con los datos obtenidos en las pruebas de tratabilidad se procedió a realizar el diseño de una planta de tratamiento a escala real, para posteriormente por medio de un reemplazo de datos en las ecuaciones iniciales calcular los valores óptimos para el diseño y construcción del prototipo.

Una vez construido el prototipo se comprobó que tenía un correcto funcionamiento al momento de tomar muestras del agua tratada, evidenciando la reducción de la carga contaminante con resultados de DQO que fueron de 25040 mg/lit hasta llegar a un valor de 410 mg/lit, y también de DBO de 21600 mg/lit hasta llegar a un valor de 59 mg/lit en los diferentes tiempos de retención hidráulica.

Durante todo el tratamiento se logró mantener los valores de pH, temperatura y OD adecuados para un óptimo desarrollo de los microorganismos, mediante el estricto control de los mismos.

Con la puesta en marcha del prototipo construido se pudieron obtener los parámetros de diseño los cuales pueden ser llevados a una escala real para el tratamiento dentro de la quesera Isabel siendo las dimensiones de cada tanque las siguientes: Tanque homogeneizador (0.50m x 0.50m x 0.50m), Tanque aireador (1m x 0.50m x 0.50m) Tanque sedimentador (0.80m x 0.40m x 0.40m en la altura 1 x 0.60m en la altura 2).

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir tres métodos que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos, en los tratamientos químicos interviene la coagulación y floculación, en los tratamientos biológicos la aireación (mecánica, flujo pistón, mezcla completa, difusores), lagunas de oxidación y humedales, y los tratamientos físicos constan de predecantadores, desarenadores, rejillas, tamices y filtros.

La Facultad de Ingeniería facilitó los laboratorios de servicios ambientales y operaciones unitarias para realizar pruebas de tratabilidad, en cubas de aireación y en jarras de coagulación y floculación, siendo estos dos métodos los más utilizados para tratamiento de aguas residuales.

Se escogió directamente un sistema de aireación (tratamiento biológico), y no un sistema de coagulación y floculación (tratamiento químico), puesto que los lodos resultantes de este tratamiento son contaminantes para el ambiente, al contener sulfato de aluminio y sulfato ferroso, que son tóxicos al momento de ser depositados en terrenos o en cursos de agua; a comparación de los lodos activos que se producen en un tratamiento biológico, los cuales son deshidratados y pueden ser dispuestos como desechos sólidos e incluso ser utilizados como abono orgánico.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Realizar una correcta caracterización inicial de las aguas residuales, con el fin de obtener datos precisos de DBO y DQO, los cuales son los valores más importantes al momento de diseñar la planta de tratamiento.

Investigar y escoger el mejor método de depuración dependiendo del tipo de agua residual a tratar, para así proceder a realizar de manera correcta las pruebas de tratabilidad las cuales nos arrojarán datos importantes al momento de calcular y construir el prototipo

La construcción del prototipo debe realizarse en vidrio de 6 líneas de espesor para evitar que se rompa por la presión del agua y por las perforaciones donde van las tuberías y para la construcción de una planta de tratamiento a escala real se recomienda hacerla en concreto o acero inoxidable para garantizar su durabilidad y mantenimiento.

Al momento de ingresar las aguas residuales al sistema de tratamiento verificar que la temperatura no sea mayor de 28 grados centígrados ya que al tener temperaturas altas el oxígeno disuelto disminuye, los microorganismos no se desarrollan y en el agua aparece una película gruesa de quesillos que no se formaron en el desuerado de la leche.

Cada dos horas se debe controlar el pH el cual debe ser neutro dentro del rango de 6.5 a 7.5, el OD debe siempre ser mayor a 3 mg/lit y la temperatura no debe subir de los 28° C, ya que si uno de estos parámetros no está dentro de lo óptimo para el correcto desarrollo de los microorganismos todo el tratamiento se perderá.

Observar el comportamiento de los flocs en el tanque sedimentador para determinar el tiempo exacto en el que estos sedimentan antes de descargar el agua al sistema de alcantarillado.

## **CAPITULO VI**

### **6. PROPUESTA**

#### **6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA**

Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la quesera Isabel ubicada en el sector Langos el Cisne del Cantón Guano Provincia de Chimborazo.

#### **6.2 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta el diseño real de la planta de tratamiento de la quesera Isabel, el mismo que servirá para dar solución al problema ambiental que provocan las aguas residuales procedentes de la fabricación de los quesos al ser arrojadas a terrenos y ríos, sin ningún tipo de tratamiento previo, provocando así malos olores en el sector, denuncias por parte de la comunidad y también problemas legales con las autoridades ambientales.

Esta planta de tratamiento está diseñada para depurar aguas residuales que proceden de las industrias queseras, cumpliendo así con las normativas legales establecidas por las autoridades ambientales.

Con este sistema de tratamiento se cumple los parámetros establecidos en el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental), el cual nos indica que para descargas en sistemas de alcantarillado se debe tener valores máximos de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) de 250 mg/lit, sabiendo así que si este valor es mayor al establecido por la ley se estará incumpliendo con lo que disponen las autoridades del Ministerio del Ambiente.

## **6.3 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la quesera Isabel ubicada en el sector Langos el Cisne del Cantón Guano Provincia de Chimborazo.

### **Objetivos específicos**

- Realizar los calculos de diseño de la planta de tratamiento.
- Diseñar graficamente la estructura de la planta de tratamiento.
- Analizar los costos en la implementacion y construccion de la planta de tratamiento de la quesera Isabel.
- Plantear el manejo y control de la planta de tratamiento para su corecto funcionamiento.

## **6.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **6.4.1 TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS**

El proceso de los lodos activados para el tratamiento de aguas residuales está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica.

Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas residuales, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez.

Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos, y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante.

## **6.4.2 PRINCIPIOS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

### **6.4.2.1 INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO**

Los elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados son:

- Tanque de Aeración: Estructura donde el desagüe y los microorganismos son mezclados. Se produce reacción biológica.
- Tanque Sedimentador: El desagüe mezclado procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desagüe tratado clarificado.
- Equipo de Aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.
- Sistema de Retorno de Lodos: El propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retornados al tanque de aireación.
- Exceso de Lodos y su Disposición: El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, es eliminado, tratado y dispuesto. (BORJA, M, 2011, p. 51, 53-56, 131-134, 210-217).

### 6.4.2.2 OPERACIONES BÁSICAS

- **Pretratamiento/Ajuste de Aguas Residuales:** En algunos casos las aguas residuales deben ser acondicionadas antes de procederse con el proceso de lodos activados, esto debido a que ciertos elementos inhiben el proceso biológico (grandes cantidades sólidos, aguas residuales con valores anormales de pH, etc).
- **Remoción de DBO en un Tanque de Aeración:** Las aguas residuales crudas mezcladas con el lodo activado retornado del tanque sedimentador final es aireado hasta obtener 2mg/L de oxígeno disuelto o más, en donde una parte de materia orgánica contenida en los desagües es mineralizada y gasificada, y la otra parte, es asimilada como nuevas bacterias.
- **Operación Sólido-Líquido en el tanque de sedimentación:** Los lodos activados deben ser separados del licor mezclado provenientes del tanque de aireación, proceso que se realiza en el tanque de sedimentación, concentrándolos por gravedad. Las finalidades de este proceso es: Conseguir un efluente clarificado con un mínimo de sólidos suspendidos, y, asegurar el lodo de retorno.
- **Descarga del Exceso de Lodos:** Con la finalidad de mantener la concentración de los lodos activados en el licor mezclado a un determinado valor, una parte de los lodos son eliminados del sistema a lechos de secado o a espesadores seguidos de filtros mecánicos (filtros prensa, de cinta, etc) para posteriormente disponer el lodo seco como residuo sólido. (RODIE,E, 1987. P. 2-13).

## **6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

### **6.5.1 FUNCIONAMIENTO**

En el proceso de lodos activados que será utilizado en la planta de tratamiento de la quesera Isabel los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción.

Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle por medio de piedras porosas instaladas en el fondo del tanque aireador.

La propuesta que se ha planteado es con la finalidad de que se solucionen los problemas ambientales causados por la carga contaminante que poseen las aguas residuales que provienen de las queseras evitando así la contaminación de suelo y agua.

Una vez terminado el diseño del prototipo y con los datos que se obtuvo de esta investigación se propone un diseño real para que en un futuro pueda ser implementado en los patios de la fábrica de quesos, y así de esta manera dar solución a los problemas ambientales que produce este tipo de aguas, y también poder obtener los permisos de funcionamiento que otorga el Ministerio del Ambiente.

Para el correcto funcionamiento del diseño real se necesitara un compresor de 14.4 HP de potencia con el que se inyectara aire al tanque bioreactor que tendrá un volumen de  $97.8 m^3$ , el tanque homogeneizador tendrá un volumen de  $0.50 m^3$ .

Para la obtención de las dimensiones del tanque sedimentador se tomó el 65% del volumen del tanque bioreactor, obteniendo un volumen de  $63.5 m^3$

## 6.5.2 CÁLCULOS DE DISEÑO REAL

### 6.5.2.1 TANQUE HOMOGENEIZADOR

En este tanque se homogenizara el caudal que es de 6.58gal/min, el DBO, la temperatura y se estabilizara el pH y así de esta manera se tendrá un caudal constante que alimente al tanque aireador. Dónde: V = volumen, l = largo, a= ancho, h= altura.

$$V = 133.94gal * \frac{1 m^3}{264.17 gal} = 0.50m^3$$

$$a = h$$

$$h = 0.50m$$

$$l * a * h = 0.50m$$

$$l * 2h = 0.50m$$

$$l = \frac{0.50m}{2(0.50)}$$

$$l = 0.50m$$

$$l = h = a = 0.50m$$

### 6.5.2.2 TANQUE BIOREACTOR

En este tanque se suministra oxígeno al agua residual por medio de un compresor que va conectado a difusores de aire en el fondo del tanque que distribuyen el oxígeno a todo el sistema. . Dónde: V = volumen, l = largo, a= ancho, h= altura.

$$V = 97.8 \text{ m}^3$$

$$l * a * h = 97.8 \text{ m}^3$$

$$l * 2 * 5 = 97.8 \text{ m}^3$$

$$l = \frac{97.8 \text{ m}^3}{2(5)}$$

$$l = 9.78 \text{ m}$$

### 6.5.2.3 TANQUE SEDIMENTADOR

Tomamos el 65% del volumen del tanque aireador y asumimos valores: largo= 9 m, ancho=3m y altura= 2m quedando como incógnita la altura 1  $h_1=?$  . Dónde: VT = volumen total, l = largo, a= ancho, h= altura,  $h_1$ = altura uno.

$$VT = V_1 + \frac{V_2}{2}$$

$$VT = \frac{l * a * h}{1} + \frac{l * a * h}{2}$$

$$VT = \frac{2(l * a * h) + l * a * h_1}{2}$$

$$2VT = 2 * l * a * h + l * a * h_1$$

$$2VT = l * a (2h + h_1)$$

$$2h + h_1 = \frac{2VT}{l * a}$$

$$h_1 = \frac{2VT}{l*a} - 2h$$

$$h_1 = \frac{2(63.5m^3)}{9m * 3m} - 2(2)m$$

$$h_1 = 0.70m$$

### 6.5.3 CALCULO DE DIFUSORES

Los difusores de aire utilizados en este tipo de planta de tratamiento son hechos en domo cerámica porosa, de alta eficiencia de burbuja simple o fina, estos difusores se los coloca en el fondo del tanque aireador.

En este tipo de cerámica porosa, la burbuja es de 2-5 mm, y las perforaciones están separadas por una distancia de 0.5 cm. (Romero, J, 2004, p. 232-300).

Cálculos del diámetro de las perforaciones en los difusores.

$$d_o = \frac{db^3 * g (d_l - d_g)}{6 * \sigma}$$

Dónde:

$d_o$  = diámetro de las perforaciones

$db$  = diámetro de burbuja

$g$  = gravedad

$d_l$  = densidad del liquido

$d_g$  = densidad del gas

$\sigma$  = interfase agua-gas a la temperatura de operación

$$do = \frac{(0.002m)^3 * (9.8 \text{ m/s})(1200 \text{ kg/m}^3 - 1.46 \text{ kg/m}^3)}{6 * 0.0087 \text{ N/m}}$$

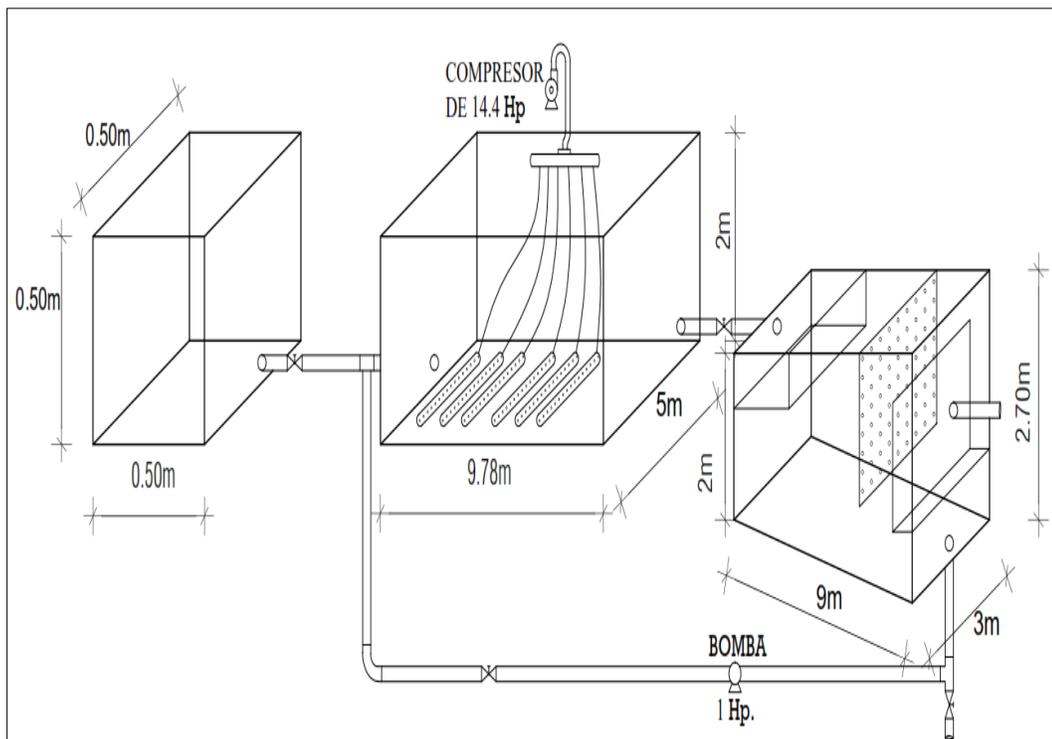
$$do = 0.00018 \text{ m}$$

$$do = 0.18 \text{ mm}$$

El diámetro de las perforaciones en el difusor de domo cerámica será de 0.18m

#### 6.5.4 DISEÑO GRAFICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

En el siguiente grafico se especifica las medidas que tendrá la planta de tratamiento, las medidas se asumieron según parámetros de diseño establecidos dependiendo del volumen de cada tanque.



**Figura 17: Planta de Tratamiento.**

**Fuente: El autor**

## 6.6 ANÁLISIS DE COSTOS PERTENECIENTES AL AÑO 2015.

Precios de materiales para la implementación y construcción de la planta de tratamiento.

<b>Listado de precios del hierro (400m de varilla) para la construcción del tanque aireador</b>	<b>USD</b>
Paredes	2935.68
Piso	112.00
Viga tapa	114.22
Tapa	126.48
<b>Total</b>	<b>4288.38</b>

<b>Listado de precios del hormigón (15.60 m<sup>3</sup>) para la construcción del tanque aireador</b>	<b>USD</b>
Paredes	2464.00
Piso	2053.80
Tapa	1854.05
<b>Total</b>	<b>6371.85</b>

<b>Obra civil</b>	<b>USD</b>
Excavación	647.00
Cerámica	1358.5

<b>Listado de precios del hierro para la construcción del tanque sedimentador</b>	<b>USD</b>
Paredes	2540.92
Piso	90.00

Tapa	86.40
<b>Total</b>	2807.73
<b>Listado de precios del hormigón (15. m<sup>3</sup>) para la construcción del tanque sedimentador</b>	<b>USD</b>
Paredes	3203.93
Piso	1232.28
Tapa	1156.99
<b>Total</b>	5593.20

<b>Obra civil</b>	<b>USD</b>
Excavación	582.30
Cerámica	1333.80

<b>Precios de accesorios, bombas, compresores y tuberías</b>	<b>USD</b>
Tubo PVC 30m $\phi$ 1 inch	70.00
6 codos $\phi$ 1 inch	19.50
1 válvulas check $\phi$ 1 inch	12.00
2 válvulas $\phi$ 1 inch	13.00
3 tee $\phi$ 1 inch	11.25
1 bomba goulds pumps 1HP	60.00
3 compresores INGERSOLL RAND 5HP	4800.00
<b>Total</b>	4985.75

<b>Costo total de la obra</b>	<b>USD</b>
Construcción, materiales y mano de obra	30784.51

## **6.7 DISEÑO ORGANIZACIONAL**

Para la aplicación de la propuesta planteada, la propietaria de la quesera Isabel encabezara la gestión para la construcción de la planta e implementación de los equipos necesarios para el funcionamiento de la misma.

La planta de tratamiento requiere un control y monitoreo, el cual estará a cargo de una persona especializada, que será contratada cada dos meses para que se encargue de la toma de muestras, y de verificar los parámetros importantes que condicionan el funcionamiento de la planta y mantenimiento de equipos.

## **6.8 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA**

La planta de tratamiento de la quesera Isabel necesitara mantenimientos y controles cada cierto tiempo como por ejemplo:

- Revisión y mantenimiento de la bomba que recircula los lodos activados al tanque aireador.
- Limpieza y mantenimiento de los tanques.
- Desfogue de lodos de desecho.
- Limpieza de tuberías.
- Mantenimiento del compresor y lavado de difusores de aire que se encuentran en el fondo del tanque aireador.

Existen parámetros que condicionaran el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento ya que de estos depende el desarrollo y crecimiento óptimo de los microorganismos que depuran el agua residual, es por eso que se necesita controlarlos cada cierto tiempo para monitorear si el sistema de está funcionando correctamente, los parámetros que se controlaran son:

pH: Este parámetro nos indica la acides o basicidad del agua. La persona que va hacer los monitoreos debe tener en cuenta que el agua debe estar con un pH neutro de 7 para que los microorganismos de desarrollen con facilidad.

Oxígeno Disuelto (OD): al ser un tratamiento aerobio el oxígeno es el parámetro fundamental que debe ser controlado y monitoreado por la persona encargada para que los microorganismos se desarrollen con rapidez, el oxígeno disuelto debe estar siempre en concentraciones mayores a 2 mg/lit.

Temperatura: La temperatura debe ser controlada al momento de ingresar al sistema de tratamiento ya que esta es inversamente proporcional al oxígeno disuelto, y al tener una temperatura que sobrepasa los 30 grados centígrados el oxígeno disuelto disminuye y todo el tratamiento se daña.

La evaluación se la realizara caracterizando el agua que está siendo arrojada al sistema de alcantarillado, midiendo el DBO y verificando que no sobrepase los 250 mg/lit.

## CAPÍTULO VII

### 7. BIBLIOGRAFÍA

- **GENERAL**

1. **METCALF, y EDDY.,** Ingeniería Sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales., 4ta ed., New York-USA., Editorial Mac Graw Hill., 2003., Pp. 565-650.
2. **RODIE, E. y otros.,** Ingeniería Sanitaria., 2da ed., México D.F – México., Editorial Continental S.A de C.V México D.F., 1987., Pp. 2-13.
3. **RAMALHO, R.,** Tratamiento de aguas residuales., 2da ed., Quebec - Canadá., Editorial Reverte., 2003., Pp. 62-76, 91-127, 253-409.
4. **ROMERO, J.,** Tratamiento de Agua Residuales, Teoría y Principios de Diseño., 3ra ed., Bogotá - Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2004., Pp. 232-300.

### ESPECÍFICA

5. **ALVIZ, A.,** Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal., Escuela de ingeniera química., Universidad de Cartagena., Cartagena – Colombia., TESIS., 2012., Pp. 65-87.

Ebook:

[es.scribd.com/doc/155134542/DISENO-DE-UN-SISTEMA-DE-AIREACION-PARA-UNA-PLANAT-DE-LODOS-ACTIVADOS-EN-ZOFRANCA-MAMONAL](https://es.scribd.com/doc/155134542/DISENO-DE-UN-SISTEMA-DE-AIREACION-PARA-UNA-PLANAT-DE-LODOS-ACTIVADOS-EN-ZOFRANCA-MAMONAL)

6. **BENEFIELD, L. y otros.**, Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia., “Biological Process Design for Wastewater Treatment”, Maracaibo – Venezuela., Editorial Prentice-Hall., 2002., Pp. 51, 53-56, 131-134, 136, 190-193, 210-217.
  
7. **BORJA, M.**, Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda., Escuela Ciencias Químicas., Facultad de Ciencias., Escuela Superior Politécnica De Chimborazo., Riobamba – Ecuador., TESIS., 2011., Pp. 52-105
  
8. **DELGADO, J. y otros.**, Revista Ciencia e ingeniería., Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería., Mérida – Venezuela., Vol 27., No 3., Agosto - Noviembre 2006., Pp. 145-151.
  
9. **LÓPEZ, J.**, Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio., Escuela de Ingeniería Química., Universidad San Francisco de Quito.,  
  
Ebook: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/750/1.pdf>
  
10. **MÉNDEZ, L. y otros.**, Revista del Instituto de Investigación FIGMMG., Tratamiento de aguas residuales por lodos activados a escala de laboratorio., Lima – Perú., Universidad Nacional Mayor de San Marcos., Vol. 7., No. 14., Pp. 1-10.  
  
Ebook:  
[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7\\_n14/a10.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n14/a10.pdf)

11. **PINZÓN, L.**, Tratamiento biológico de efluentes de industrias procesadoras de cueros usando lodos activados., Universidad Nacional Experimental del Táchira., San Cristóbal - Venezuela., TESIS., 2009., Pp. 9-59.

Ebook:

<https://www.google.com.ec/search?hl=es&noj=1&biw=1280&bih=639&q=1.%09Harmand%2C>

12. **VARILA, J. y otros.**, Revista de Tecnología - Journal of Technology., Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio., Bogotá – Colombia., Volumen 7., No. 2., Julio - Diciembre 2008., Pp. 21-28.

Ebook:

[http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_tecnologia/volumen7\\_numero2/tratamiento\\_aguas\\_residuales7-2.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/tratamiento_aguas_residuales7-2.pdf)

13. **MODLER H.W.** (1987). Boletín FIL n.º 212, 11-124

Ebook:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Suero\\_de\\_leche](http://es.wikipedia.org/wiki/Suero_de_leche)

14. **LJ VILLENA.**, CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA LÁCTEA., 1995

Ebook:

<http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf>

**CAPITULO VIII**

**ANEXOS**

Anexo 1. Análisis de laboratorio de las aguas  
crudas procedentes de la quesera Isabel.



Nº SE: 045 – 14

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME Nº:** 045 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **Nº SE:** 045 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cdla. Pucara Mz 3 casa 14. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 04 – 07 – 14  
**TELÉFONO:** 2946735 **FECHA DE INFORME:** 14 – 07 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 085-14 Agua de Quesera Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 085-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	37000	+/- 6 %	04 – 07 - 14
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	3000	N/A	04 – 07 - 14
* Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - F	259	N/A	04 – 07 - 14
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	135	N/A	04 – 07 - 14
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	93	N/A	04 – 07 - 14
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	41330	N/A	04 – 07 - 14
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	60600	N/A	04 – 07 - 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Técnico L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Anexo 2. Análisis de sólidos después de realizar pruebas de tratabilidad.



N° SE: 046 - 14

INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME N°:** 046 - 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **N° SE:** 046 - 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 22 - 07 - 14  
**TELÉFONO:** 2946735 **FECHA DE INFORME:** 23- 07 - 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 086-14 Agua de Quesera Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 086-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	59800	+/- 6 %	22 - 07 - 14
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	3400	N/A	22 - 07 - 14
* Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - F	4142	N/A	22 - 07 - 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Técnico L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo 3. Análisis de DQO y DBO después de realizar pruebas de tratabilidad.



N° SE: 046 – 14

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME N°:** 047 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **N° SE:** 047 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cdla. Pucara Mz 3 casa 14.  
**TELÉFONO:** 2946735 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 24 – 07 – 14  
**FECHA DE INFORME:** 28 – 07 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 087-14 Agua de Quesera Agua

**El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 086-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	21600	N/A	24 – 07 - 14
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	25040	N/A	24 – 07 - 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Técnico L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo 4. Análisis de DQO y DBO de los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales de queseras.



Nº SE: 049 – 14

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME Nº:** 049 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **Nº SE:** 049 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 25 – 08 – 14  
**TELÉFONO:** 2946735 **FECHA DE INFORME:** 01– 09 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 087-14 Agua de Quesera Agua

**El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 092-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	77500	N/A	25 – 08 – 14
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	100300	N/A	25 – 08 – 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Técnico L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 - Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

## Anexo 5. Análisis de DQO del agua tratada con 12 horas de aireación



## Anexo 6. Análisis de DQO del agua tratada con 24 horas de aireación



N° SE: 060 – 14

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME N°:** 060 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **N° SE:** 060 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14.  
**TELÉFONO:** 2946735 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 13 – 11 – 14  
**FECHA DE INFORME:** 14 – 11 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 087-14 Agua de Quesera M3 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 092-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	16700	N/A	13 – 11 – 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Técnico / L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Anexo 7. Análisis de DQO del agua tratada con 48 horas de aireación.



Nº SE: 052 – 14

INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME Nº:** 052 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **Nº SE:** 052 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 20 – 11 – 14  
**TELÉFONO:** 032946735 **FECHA DE INFORME:** 21 – 11 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 094-14 Agua de Quesera M2 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 092-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	2550	N/A	20 – 11 – 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Técnico L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo 8. Análisis de DQO del agua tratada con 24 horas de aireación con recirculación de lodos.



Nº SE: 053 – 14

## INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME Nº:** 053 – 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **Nº SE:** 053 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14.  
**TELÉFONO:** 032946735 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 26 – 11 – 14  
**FECHA DE INFORME:** 26 – 11 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 095-14 Agua de Quesera M3 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 095-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	1650	N/A	26 – 11 – 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
Técnico / L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo 9. Análisis de DQO, DBO y Solidos del agua tratada con 72 horas de aireación con recirculación de lodos.



Nº SE: 054 - 14

INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Luis Felipe Guerra **INFORME Nº:** 054 - 14  
**EMPRESA:** Tesis UNACH **Nº SE:** 054 - 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Pucara Mz 3 casa 14.  
**TELÉFONO:** 032946735 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 10 - 12 - 14  
**FECHA DE INFORME:** 10 - 12 - 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 096-14 Agua de Quesera M4 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

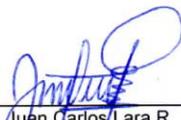
MA - 095-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	410	+/- 10 %	10 - 12 - 14
*DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	59	N/A	10 - 12 - 14
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	730	+/- 6 %	10 - 12 - 14
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	132	N/A	10 - 12 - 14
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 2540 F	0,1	N/A	10 - 12 - 14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 Técnico L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 - Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

FMC2101-01

Anexo 10. Análisis de grasas y aceites del agua tratada con 72 horas de aireación con recirculación de lodos.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p align="center"><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	---	---

**INFORME DE ENSAYO No:** 2551  
**ST:** 952 – 14 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** NA  
**Atn.** Luis Felipe Guerra  
**Dirección:** Pucará Mz 3 Cs. 14 Calle Santiago – Riobamba  
**FECHA:** 26 de Diciembre del 2014  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2014/12/15 – 8:00  
**FECHA DE MUESTREO:** 2014/12/14 – 18:00  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2014/12/15 – 2014/12/26  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua tratada  
**CÓDIGO LABCESTTA:** LAB-A 2514-14  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Quesera Isabel Langos El Cisne

**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico-Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Felipe Guerra  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (m)	INCERTIDUMBRE (k=2)
Grasas y Aceites	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	8,10	-	±10%

**OBSERVACIONES:**

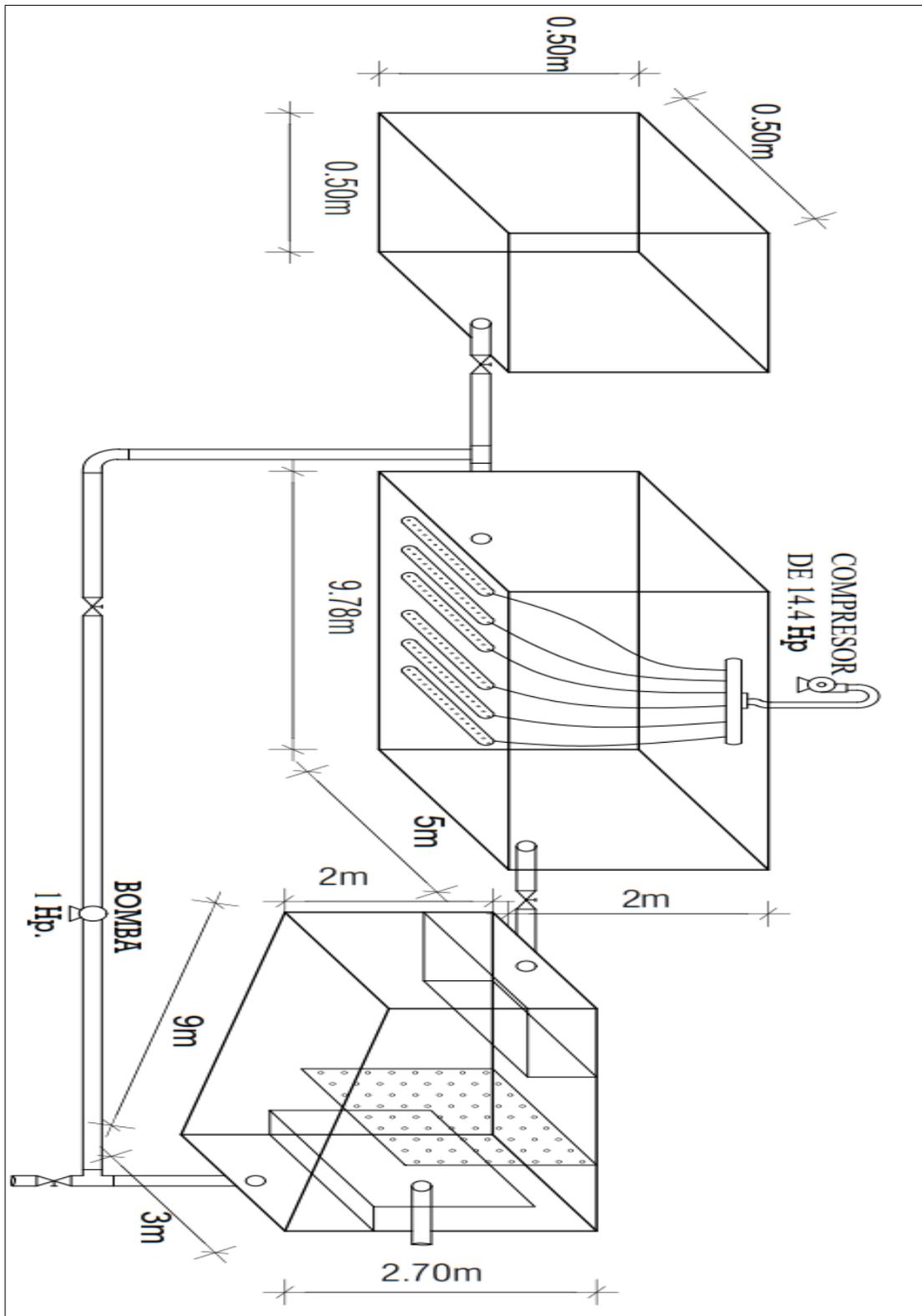
- Muestra receptada en el laboratorio

**RESPONSABLE:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH**

## Anexo 11. Planos del prototipo en auto CAD.



# GRÁFICOS



**Figura 18:** Bidones para recolección de muestras de aguas residuales de la quesera Isabel.

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.



**Figura 19:** Aireación en el prototipo con dos compresores JAC.

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.



**Figura 20: Determinación del DBO**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**



**Figura 21: Determinación de Sólidos Totales.**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**



**Figura 22: Equipo multiparametros para la medición de pH, OD y T° .**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**



**Figura 23: pH controlado y estabilizado.**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**



**Figura 24: Temperatura estabilizada en 20° C.**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**



**Figura 25: Aumento del Oxígeno Disuelto.**

**Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.**