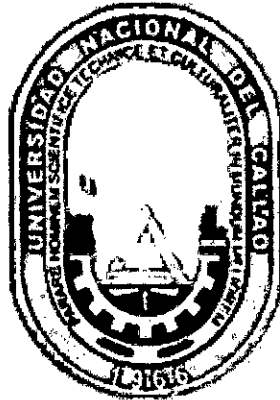


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“TRATAMIENTO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE LODOS  
ACTIVADOS DEL AGUA RESIDUAL DEL CAMAL DE  
CARHUAZ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**ALEXANDER KEVIN RAMIREZ TREJO**  
**EDUARDO FRANCISCO QUISPE CASTILLO**

Callao, diciembre de 2017

PERÚ



## **PRÓLOGO DEL JURADO**

La presente Tesis fue Sustentada por los Bachilleres **QUISPE CASTILLO EDUARDO FRANCISCO** y **RAMÍREZ TREJO ALEXANDER KEVIN** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	: PRESIDENTE
ING. CHAMPA HENRÍQUEZ OSCAR MANUEL	: SECRETARIO
ING. HERRERA SÁNCHEZ SONIA ELIZABETH	: VOCAL
ING. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO	: ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 2 Folio N° 104 y Acta N° 287 de Sustentación por la Modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de fecha **27 DE DICIEMBRE 2017**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011 y Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre de 2012.

## **DEDICATORIA**

**A mi padre** Arcadio Ramírez Ramírez y **mi madre** Norma Trejo García, por guiarme con valores, apoyarme con mucho sacrificio y confiar en todo momento para poder cumplir esta meta tan anhelada.

**A mis hermanos** Jordy y Fleming por su apoyo constante y aliento continuo para poder cumplir con este primer paso.

**Al resto de mi familia** por su apoyo en los 5 años de estudiante sin pedir nada a cambio, solo que cumpla mis objetivos personales.

**A mi novia** Liliana Ramos por su apoyo en la facultad de Ingeniería Química y su aliento para cumplir los objetivos trazados.

**A mis profesores** por sus enseñanzas, por formarnos académicamente, brindándonos sus conocimientos para afrontar con éxito nuestra futura carrera profesional.

**Alexander Kevin Ramírez Trejo**

**A Dios**, por iluminar mi camino y así darme la oportunidad de culminar mis estudios superiores, fortaleciendo así mi vida profesional.

**A mi madre** Dora Castillo Bustamante y **mi tía** Lourdes Castillo Bustamante, por brindarme el apoyo necesario desde mi niñez, inculcándome valores éticos y morales, por estar siempre a mi lado para educarme con cariño, esfuerzo y sacrificio.

**A mi hermano** Jesús Terry Castillo por brindarme su apoyo y darme gratos momentos compartidos.

**A mi novia** Seshira Rodríguez, por su apoyo en los diseños técnicos para la realización de esta tesis y por brindarme los consejos y darme la fuerza necesaria para cumplir mis sueños.

**Eduardo Francisco Quispe Castillo**

## ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1. Determinación del problema.....	10
1.2. Formulación del problema .....	11
1.2.1. Problema general.....	11
1.2.2. Problemas específicos .....	12
1.3. Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación.....	12
1.5. Importancia.....	13
II. MARCO TEÓRICO .....	14
2.1. Antecedentes de estudio.....	14
2.2. Aspectos generales del agua residual.....	16
2.3. Procesos y operaciones en el camal de Carhuaz.....	17
2.3.1. Definición de un camal. ....	17
2.3.2. Proceso de faenamiento en el camal de Carhuaz. ....	18
2.4. Contaminación del agua en un camal. ....	21
2.5. Componentes del agua residual del camal.....	23
2.5.1. Componentes físicos. ....	23
2.5.2. Componentes químicos.....	25
2.5.3. Componentes biológicos.....	27
2.6. Tecnologías para tratamiento de aguas residuales.....	28
2.6.1. Tratamiento fisicoquímico .....	29
2.6.2. Tratamiento biológico. ....	29
2.7. Tratamiento de aguas por lodos activados .....	31
2.7.1. Lodo activado.....	31
2.7.2. Proceso para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados.....	31

2.7.3.	Lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales .....	32
2.8.	Parámetros de diseño del equipo de lodos activados .....	33
2.8.1.	Importancia del oxígeno en el sistema de lodos activados. ....	34
2.8.2.	Parámetros del tanque de aireación. ....	35
2.8.3.	Parámetros del tanque de aireación. ....	38
2.9.	Determinación de Parámetros Biocinéticos .....	39
2.9.1.	Ecuaciones para la determinación de los parámetros biocinéticos. 41	
2.10.	Marco legal de los límites permisibles del agua residual de un camal 47	
2.11.	Definición de términos .....	48
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS .....	50
3.1.	Definición de las variables de la investigación .....	50
3.2.	Operacionalización de variables .....	52
3.3.	Hipótesis general e hipótesis específicas .....	53
3.3.1.	Hipótesis General.....	53
3.3.2.	Hipótesis Específicas.....	53
IV.	METODOLOGÍA.....	54
4.1.	Tipo de Investigación.....	54
4.2.	Diseño de Investigación .....	55
4.2.1.	Etapas de la Investigación .....	57
4.3.	Población y Muestra .....	58
4.3.1.	Población .....	58
4.3.2.	Muestra .....	58
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	58
4.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	60
4.5.1.	Toma de Muestra .....	60
4.5.2.	Descripción de la planta de lodos activos a escala laboratorio. ....	78
4.5.3.	Materiales para la fabricación del equipo .....	79
4.5.4.	Determinación de parámetros biocinéticos .....	80
a.	Proceso para el tratamiento de aguas residuales.....	82

b. Diagrama de flujos de proceso para el tratamiento del agua residual del camal de Carhuaz. ....	83
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos. ....	94
V. RESULTADOS .....	97
5.1. Resultados del análisis del agua superficial del río Santa y del agua residual del camal de Carhuaz. ....	97
5.2. Caracterización del lodo activado como inóculo .....	99
5.3. Caracterización del afluente y del efluente en el reactor .....	100
5.4. Resultados del Test de Jarras como pre tratamiento.....	101
5.5. Determinación de parámetros biocinéticos .....	101
5.6. Resumen de parámetros biocinéticos obtenidos para el agua residual del camal de Carhuaz.....	115
5.7. Control del Proceso .....	116
5.8. Características del Efluente Tratado.....	117
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	118
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados .....	118
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares. ....	119
VII. CONCLUSIONES.....	120
VIII. RECOMENDACIONES .....	122
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2. 1. Condición general del agua residual.....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 2. 2. Comparación de DBO/DQO .....</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 2. 3. Clasificación de microorganismos .....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 2. 4. Parámetros de diseño y operación de procesos de Lodos Activados .....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 2. 5. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de la actividad agroindustrial como planta de camales y plantas de beneficio, incluyendo los mataderos en promedio diario .....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 3. 1. Operacionalización de variables.....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 4. 1 Cantidad de animales que se sacrifican diariamente.....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 4. 2 Parámetros controlados (tiempo y OD).....</b>	<b>95</b>
<b>Cuadro 4. 3 Análisis ANOVA en Excel de tiempo y OD para dos factores y un nivel.....</b>	<b>96</b>
<b>Cuadro 5. 1 Caracterización del agua superficial del río santa aguas arriba .....</b>	<b>97</b>
<b>Cuadro 5. 2 Caracterización del agua residual a las 7:00 am de un día de sacrificio en el camal.....</b>	<b>98</b>
<b>Cuadro 5. 3 Caracterización del agua residual a las 11:00 am de un día de sacrificio en el camal.....</b>	<b>98</b>
<b>Cuadro 5. 4 Caracterización del lodo de la PTAR del condominio “El Pinar” - Huaraz .....</b>	<b>99</b>
<b>Cuadro 5. 5 Tiempo de retención hidráulica (TRH).....</b>	<b>100</b>
<b>Cuadro 5. 6 Cuadro de resultados del test de jarras .....</b>	<b>101</b>
<b>Cuadro 5. 7 Datos para la cinética de primer orden .....</b>	<b>102</b>
<b>Cuadro 5. 8 Datos para el modelo de Monod .....</b>	<b>103</b>
<b>Cuadro 5. 9 Datos para el modelo cinético de Grau .....</b>	<b>104</b>
<b>Cuadro 5. 10 Datos para el cálculo de Y y Kd .....</b>	<b>107</b>
<b>Cuadro 5. 11 O.D. vs tiempo (TRH = 2 hrs) .....</b>	<b>109</b>
<b>Cuadro 5. 12 O.D. vs tiempo (TRH = 4 hrs) .....</b>	<b>110</b>
<b>Cuadro 5. 13 O.D. vs tiempo (TRH = 6 hrs) .....</b>	<b>111</b>
<b>Cuadro 5. 14 O.D. vs tiempo (TRH = 7 hrs) .....</b>	<b>112</b>
<b>Cuadro 5. 15 O.D. vs tiempo (TRH = 8 hrs) .....</b>	<b>113</b>
<b>Cuadro 5. 16 Datos para hallar las constantes “a” y “b” .....</b>	<b>114</b>
<b>Cuadro 5. 17 Resumen de parámetros biocinéticos .....</b>	<b>115</b>
<b>Cuadro 5. 18 Parámetros controlados.....</b>	<b>116</b>
<b>Cuadro 5. 19 Resultados finales .....</b>	<b>117</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Desangrado de ganado vacuno .....	19
Figura 2. 2. Desangrado de ganado porcino .....	19
Figura 2. 3. Pelado de ganado vacuno .....	20
Figura 2. 4. Corte de ganado vacuno.....	20
Figura 2. 5. Corte de ganado ovino.....	20
Figura 2. 6. Lavado en el faenamiento.....	21
Figura 2. 7. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	28
Figura 2. 8. Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del Tipo de tratamiento aplicado .....	30
Figura 2. 9. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales .....	30
Figura 2. 10. Diagrama del proceso de fangos de una PTAR.....	33
Figura 2. 11. Variación del sustrato (F) y biomasa (X) con la edad del lodo	37
Figura 2. 12. Determinación Gráfica de k.....	41
Figura 2. 13. Determinación Gráfica de $k_s$ y $q_{m\acute{a}x}$ .....	42
Figura 2. 14. Determinación Gráfica de la constante $k_1$ .....	43
Figura 2. 15. Obtención de Y y $k_d$ .....	45
Figura 2. 16. Obtención de a y b .....	46
Figura 2. 17. Cálculo de la VUO.....	46
Figura 3. 1. Relación de las Variables de la Investigación.....	51
Figura 4. 1. Diseño de la investigación .....	56
Figura 4. 2. Muestreo .....	61
Figura 4. 3. Descarga de agua residual al río Santa .....	61
Figura 4. 4. Descarga de agua residual al río Santa .....	62
Figura 4. 5. Descarga de agua residual al río Santa .....	62
Figura 4. 6. Medición de volumen de muestra .....	63
Figura 4. 7. Filtración de la muestra de agua residual .....	64
Figura 4. 8. Secado de los filtros .....	64
Figura 4. 9. Pesado del filtro y los sólidos suspendidos .....	65
Figura 4. 10. Medición de Oxígeno Disuelto de la muestra inicial de agua residual.....	71
Figura 4. 11. Medición de Oxígeno Disuelto de la dilución para DBO.....	72
Figura 4. 12. Nutrientes para el agua de dilución .....	73
Figura 4. 13. Adición de $K_2 r_2O7$ a la muestra.....	75
Figura 4. 14. Adición de ácido sulfúrico a la muestra .....	76
Figura 4. 15. Digestión en el termoreactor.....	76
Figura 4. 16. Aireación para TRH .....	81
Figura 4. 17. Sedimentación en conos Imhoff.....	81
Figura 4. 18. Diagrama de flujo de proceso para el tratamiento del agua residual del camal de Carhuaz .....	83

<b>Figura 4. 19. Preparación de materiales e insumos.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 4. 20. Preparación del floculante con diferentes concentraciones ...</b>	<b>85</b>
<b>Figura 4. 21. Inicio del test de jarras.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 4. 22. Muestras al finalizar el test de jarras listas para el siguiente proceso .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4. 23. Adición de 3 litros de afluente .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 4. 24. Adición del lodo activo a la muestra de agua residual del camal .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4. 25. Preparación de la bomba y los difusores para el tratamiento .</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4. 26. Tratamiento del agua residual y obtención del TRH.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4. 27. Retirando las espumas formadas en el tratamiento biológico</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4. 28. Sedimentación secundaria.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4. 29. Sedimentación secundaria luego de culminada le tiempo determinado.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 5. 1. Modelo cinético de primer orden .....	102
Gráfica 5. 2. Modelo cinético de Monod .....	103
Gráfica 5. 3. Modelo Cinético de Grau .....	104
Gráfica 5. 4. Determinación de Y y Kd .....	107
Gráfica 5. 5. O.D. vs tiempo (TRH = 2 hrs) .....	109
Gráfica 5. 6. O.D. vs tiempo (TRH = 4 hrs) .....	110
Gráfica 5. 7. O.D. vs tiempo (TRH = 6 hrs) .....	112
Gráfica 5. 8. O.D. vs tiempo (TRH = 7 hrs) .....	113
Gráfica 5. 9. O.D. vs tiempo (TRH = 8 hrs) .....	114
Gráfica 5. 10. Obtención de "a" y "b" .....	115

## RESUMEN

El camal municipal está ubicado en la provincia de Carhuaz en el departamento de Ancash donde se usa agua potable para el lavado de los animales sacrificados (ovinos, porcinos y vacunos), cuya descarga del agua residual sin previo tratamiento es en el río Santa.

Se analizó las características fisicoquímicas del afluente en tres diferentes horarios en un día; a las 7 a.m., 11 a.m. y 1 p.m; obteniendo mayor concentración de los parámetros fisicoquímicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) =1840 ppm, Demanda Química de Oxígeno (DQO) =2525 ppm, Sólidos Suspendidos Totales (SST)= 1146ppm, Fósforo Total ( $P_{Total}$ )= 2,66ppm, y Nitrógeno total ( $N_{Total}$ )=13ppm) y mayor caudal (20 m<sup>3</sup>/hora) a las 11 a.m.

Se diseñó un proceso de tratamiento mediante la tecnología de lodos activados, este proceso se inició con un pretratamiento (test de jarras) para luego continuar en una sedimentación primaria con un tiempo de retención de 9 horas (para tener mayor sedimentación), continuando en el reactor biológico con un tiempo de retención hidráulica de 6 horas, cuya aireación se dio con difusores esféricos y bombas de aire de 5w, 9 w y 15 w, controlando en todo momento el oxígeno disuelto, como último proceso se realizó una sedimentación secundaria en un sedimentador cónico, para luego por rebose obtener el agua tratada.

Mediante la tecnología de lodos activados se logró reducir la cantidad de DBO5 y DQO con porcentajes de remoción de 77,03% y 84,78% respectivamente, con un exceso del 10,7% de DBO5 (280 mg/L) y 13,8% de DQO (580 mg/L) respecto al límite máximo permisible (250mg/L para DBO5 y 500mg/L para DQO) y los demás parámetros solicitados por la normatividad vigente están dentro de los límites máximos permisibles (LMP). (fósforo total =8ppm; Nitrógeno total=1,33ppm; Sólidos suspendidos totales =231ppm)

**Palabras clave:** Lodos activados, DBO5, DQO.

## **ABSTRACT**

The municipal camal is located in Carhuaz province, in the department of Ancash where potable water is used for the washing of slaughtered animals (sheep, pigs, cattle), whose discharge of wastewater without previous treatment is in the Santa River.

The physicochemical characteristics were analyzed in three different schedules in a day; at 7 am, 11 am and 1 pm; getting greater concentration of physicochemical parameters (Biochemical Oxygen Demand (BOD) = 1840 ppm, Chemical Oxygen Demand (COD) = 2525 ppm, Total Suspended Solids (TSS) = 1146 ppm, Total Phosphorus (TP) = 2,66 ppm, Total Nitrogen (TN) = 13ppm and higher flow (20m<sup>3</sup>/hour) at 11 o'clock.

A treatment process was designed using activated sludge technology, this process started with a pretreatment (jar test) to then continue in a primary sedimentation with a retention time of 9 hours( to have higher sedimentation), continuing in the biological reactor with a time in hydraulic retention of 6 hours, whose aeration was given with spherical diffusers and air pumps of 5w, 9w and 15w, controlling dissolved oxygen at all time, as last process it has been made a secondary sedimentation in a conical settler, to then overflowing to obtain the treated water.

Through the technology of activated sludge, the amount of BOD and COD was reduced with removal percentages of 77,03% and 84,78% respectively, with an excess of 10.7% of BOD (280 mg/L) and 13.8% of COD (580 mg/L) with respect to the maximum permissible limit (250 mg/L for BOD and 500 mg/L for COD) ) and the other parameters requested by the current regulations are within the maximum permissible limits(MPL) (Total Phosphorus= 8ppm; Total Nitrogen= 1,33 ppm; Total Suspended Solids= 231 ppm)

**Key words:** Muds activated, BOD, COD.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Determinación del problema**

El problema de la contaminación ambiental va en aumento cada día en el mundo, nosotros somos los afectados cada día y si este problema no se controla, las próximas generaciones se verán afectadas aún más; motivo por el cual en la actualidad este problema debemos procurar controlar; por intermedio del Ministerio del Ambiente; en nuestro país se va emitiendo decretos supremos, normas que puedan controlar de cierto modo la contaminación ambiental.

Esta visión del ambiente nos lleva a preocuparnos por las aguas que emanan de los camales; comenzando por Estados Unidos, siendo un país desarrollado e industrializado, las aguas residuales de los camales son desperdiciados, vemos como el sacrificio de los animales que se realiza para el consumo humano es cruelmente realizado, lo hacen con la tecnología que ellos poseen, pero la contaminación ambiental es sumamente grave.

En América latina, los países subdesarrollados aún más, realizan el sacrificio de los animales en el camal, pero en forma no tan tecnificado como en Estados Unidos, por ser países que no contamos con tecnologías modernas y así el medio ambiente se contamina siendo los principales afectados nosotros y no solo eso, también generan problemas para la ganadería, la agricultura y la pesca marina, ya que las aguas residuales de los camales se dirigen a los ríos y éstas llegan al mar.

En nuestro país es algo muy desagradable que afecta mucho el ambiente, debido al mínimo control que realizan nuestros organismos competentes y a la falta de conciencia ambiental motivo por el cual nos vemos en la necesidad de poder dar un aporte para la posible solución de éste problema.

En la región Ancash, los camales se encuentran en pésimas condiciones; no contamos con ninguna tecnología que ofrece el mundo actual, las aguas que son usadas en los camales van directamente al río Santa, contaminando así sus aguas, que son utilizadas en regadío para la agricultura, para la ganadería y debido a la falta de agua potable y desagüe aún existen familias que realizan el lavado de las prendas de vestir en dicho río.

Por todo lo mencionado nos vemos en la necesidad de proponer una tecnología para tratamiento de las aguas residuales del camal de Carhuaz para su vertimiento adecuado y seguro al río Santa , cumpliendo las normas ambientales emitidas por el ministerio del ambiente (MINAM) con el **DECRETO SUPREMO N°001-2009-MINAM** *“Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de la actividad agroindustrial tales como plantas de camales y de beneficio incluyendo mataderos en promedio diario”* ; evitando la contaminación ambiental y del agua; el método de tratamiento es mediante los lodos activados, para lo cual con estudios y experimentaciones en laboratorio propondremos los parámetros adecuados , mediante la caracterización del efluente y el afluente para que futuros investigadores puedan utilizar dichos parámetros y puedan construir una planta de tratamiento de aguas para el camal de Carhuaz. Debido a esta necesidad de tratar el agua del camal de Carhuaz se presenta el trabajo de investigación el cual reduce los contaminantes presentes en el agua del camal hasta cumplir los límites máximos permisibles que la ley demanda.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Mediante la tecnología de lodos activados se tratará el agua residual del camal de Carhuaz?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua residual proveniente del camal de Carhuaz?
- b. ¿Cómo implementaría la tecnología de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales del camal de Carhuaz?
- c. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua tratada?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Tratar las aguas residuales del camal de Carhuaz mediante la tecnología de lodos activados hasta cumplir los límites máximos permisibles que la ley demanda.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Evaluar las características fisicoquímicas del agua residual proveniente del camal de Carhuaz.
- b. Implementar la tecnología de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales del camal de Carhuaz
- c. Evaluar las características fisicoquímicas del agua tratada.

### **1.4. Justificación**

Las razones que justifican la investigación propuesta son las siguientes:

- a) **Social:** Puesto que cada día la población de la provincia de Carhuaz y el departamento de Ancash aumenta y la demanda de productos cárnicos es mayor, el camal tiene que cumplir con todos los estándares de calidad para lograr satisfacer la necesidad de dicha población adecuadamente.
- b) **Económica:** La presente investigación es factible de ser realizado, por el motivo que no representa un gasto exorbitante debido a que el método empleado es económico a diferencia de otros métodos además que una vez comprobado la efectividad del tratamiento se promoverá la



investigación e inversión en nuevas tecnologías por parte del gobierno provincial de Carhuaz para el tratamiento de las aguas residuales y cumplir así con la norma evitando la contaminación del río Santa y todo lo que esto conlleva..

c) **Técnico:** Puesto que es imprescindible en este tiempo que todos los productos cárnicos deben ser de calidad y a la vez de ser técnicamente competitivos, este tratamiento para aguas residuales cumplirá con las exigencias de entidades reguladoras cumpliendo con todos los estándares de calidad.

d) **Legal:** En el marco legal según el **D.S.N°001-2009- MINAM** se aprueba los límites máximos permisibles (LMP) para "*Efluentes de actividades agroindustriales tales como la planta de camales y plantas de beneficio*", mediante este decreto supremo el Ministerio de ambiente obliga a las plantas de camales y plantas de beneficio cumplir con ciertos parámetros en sus efluentes.

### **1.5. Importancia.**

Actualmente contamos con muchos artículos e investigaciones respecto al tratamiento de aguas residuales en general por diversos métodos y tecnologías además de proyectos que están en marcha, pero respecto a disposición de las aguas residuales de las plantas de beneficio y/o camal las investigaciones no son complejas, y su disposición no está muy controlada.

La disposición del agua residual generada en el camal de Carhuaz es en el río Santa sin tratamiento alguno y contaminado en exceso por altas tasas de concentración de DBO, DQO y demás factores, por ello la importancia de la tesis se basa en tratar dicha agua residual antes de su disposición en el río Santa, y logrando este objetivo poder proponer a las autoridades competentes de la provincia la solución al problema de la contaminación del río por la mala disposición que realizan del agua residual.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio.

A continuación, se presenta antecedentes de estudio que guardan relación directa e indirecta con el objeto de estudio de esta investigación.

ADALBERTO NOYOLA; MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel; PATRICIA GUERECA, Leonor. **Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales**. México. Editorial de la Universidad Autónoma de México. Primera edición. 2013.

En este libro explican sobre el proceso de lodos activados donde nos dicen que sistema de lodos activados debe contar con al menos dos tanques que funcionen en forma alternada. En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios mecánicos o de inyección de aire, ésta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado; a la mezcla de este lodo con el agua residual se llama licor mezclado que fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica.

En el tanque de aireación se produce lodo activado por la reproducción de los microorganismos, una cierta cantidad debe ser desechada del sistema con el objeto de mantener constante su concentración en el tanque de aireación; esto es lo que se conoce como lodo de purga.

En el reactor completamente mezclado, las partículas que entran al tanque de aireación son inmediatamente distribuidas en todo el volumen del reactor logrando una homogeneidad completa en el mismo. La concentración de contaminantes en el reactor es, idealmente, la misma en todo el volumen del reactor y por lo tanto en su salida.

**PONTÓN TOMASELLI, Ángeles Tatiana. Reingeniería del Camal Municipal de Machala. Tesis para optar el grado de ingeniero. Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2006**

La tesis plantea una reingeniería para el camal Municipal de Machala en Ecuador donde pretende recomendar las condiciones operativas necesarias para brindar un servicio higiénico y eficiente, pues durante muchos años de funcionamiento de este camal, no se efectuaron mejoras en el proceso de faenamiento de ganado vacuno y porcino, es por ello que evaluó cada etapa del proceso de faenamiento para ver aquellas deficiencias donde pueda mejorar para así tener un producto higiénico de calidad, para lo cual se basó en normas básicas de las buenas Prácticas de Manufactura (BPM) como también realizó un análisis de las instalaciones con el fin de realizar una mejora adecuada.

**SALAS C. Gilberto, CONDORHUAMÁN C. Cesario. Tratamiento de las Aguas Residuales de un Centro de Beneficio o Matadero de Ganado. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Vol 11: 29 – 35. 2008**

En esta revista de ingeniería química se los ingenieros estudiaron el proceso de faenamiento en un camal o matadero para proponer una producción más limpia, luego de una ardua investigación y experimentaciones llegaron a concluir:

Las propuestas de medidas de producción más limpia reducirán en el origen, el volumen y la carga contaminante del agua residual a tratar; por consiguiente, el tamaño de la planta de tratamiento y los costos operativos de la misma. Conviene destacar que una recogida apropiada de la sangre

supone una ventaja en todos los sentidos, ya que se trata de un subproducto con valor económico y que en el caso de ser vertido directamente a las aguas residuales provoca contaminación de estas, dificultando el tratamiento.

De igual manera, la separación de los sólidos de rumen generados durante el proceso, mejoran, considerablemente, las características de las aguas residuales a tratar.

La flotación con aire disuelto (DAF) permite reducir la carga contaminante contenida en los efluentes generados en el matadero, reduciendo el DBO5 en 90%. Antes que el agua residual sin sangre y rumen ingresen al flotador, deberá instalarse un filtro para la retención de trozos de grasas.

**LARA VILLACÍS, Ligia Elena. Las Aguas Residuales del Camal Municipal del Cantón Baños y su Incidencia en la Contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua. Tesis para el grado de ingeniero. Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 2011**

En esta tesis se evalúa sobre el tratamiento del agua residual del camal municipal de Cantón Baños en Ecuador para así evitar la contaminación del río Pastaza en la provincia de Tungurahua, Ecuador, la cual propone la construcción de una planta de tratamiento conformada por un tanque

desarenador, el de igualación o sedimentador primario, el tanque UASB, lecho de secados y el tanque de desinfección. Con la finalidad de que las aguas residuales lleguen a los límites permisibles antes de la descarga al río.

## **2.2. Aspectos generales del agua residual**

Las aguas residuales son corrientes de agua que ya han sido utilizadas durante un determinado proceso de producción; presentando elevados niveles de contaminación.

Los efluentes líquidos constituyen uno de los problemas principales debido al alto contenido de carga orgánica que se genera en dicho proceso, estas aguas residuales son aquellas que ya han sido usadas en el proceso, en ellas están suspendidas ciertas sustancias procedentes del propio uso que se ha hecho al agua limpia.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el parámetro utilizado normalmente para conocer la cantidad de oxígeno molecular disuelto y requerido para que proceso sea el adecuada, es así como el objetivo de realizar el tratamiento de aguas es eliminar la mayor cantidad de DBO, también es importante eliminar los diversos niveles de sólidos suspendidos para mejorar la calidad del agua.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, muchos de los parámetros característicos del agua residual guardan relación entre ellos. Una propiedad física importante como la temperatura puede afectar la actividad biológica, así como la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

Se utilizan análisis cualitativos y cuantitativos para tener conocimiento de las composiciones físicas, químicas y biológicas.

## **2.3. Procesos y operaciones en el camal de Carhuaz**

### **2.3.1. Definición de un camal.**

Se entiende por camal a “un establecimiento destinado al beneficio del ganado (vacuno, ovino. etc.) Y aves (pollo) para consumo humano y donde se realiza la clasificación, por el médico veterinario, de la carne (extra, primera, segunda).” **(DECRETO SUPREMO 001- 2009- MINAM)**

El establecimiento, para su funcionamiento, tiene certificación sanitaria por parte de SENASA; los animales beneficiados en estos locales provienen mayormente de los centros de engorde.

La finalidad de un camal es producir carne de manera higiénica, mediante la manipulación humana y con técnicas especializadas para el sacrificio de y operaciones limpias para lo cual el uso de agua es indispensable, además de realizar un manejo adecuado de los residuos que genera esta actividad.

### **2.3.2. Proceso de faenamiento en el camal de Carhuaz.**

La operación en el camal municipal de Carhuaz incluye etapas como: La inspección ante-mortem, reposo y pesaje, duchado al ingreso del planta, aturdimiento y desangrado, pelado y corte, lavado, inspección y pesado de cortes, limpieza y preparación de pieles.

#### **a) Inspección ante-mortem**

Es importante realizar siempre la inspección cuidadosa de los animales vivos que ingresan al camal, es por ello que en el camal de Carhuaz se tiene una instalación para el resguardo de animales sospechosos.

#### **b) Duchado al ingreso del camal**

Se tiene aspersores para bañar a los animales esto para asegurar su limpieza y asegurar una buena sangría, para lo cual se tiene una persona a cargo de esta área que también realiza la inspección de las patas de los animales y en caso necesario se emplea una manguera con buena presión de agua.

#### **c) Desangrado**

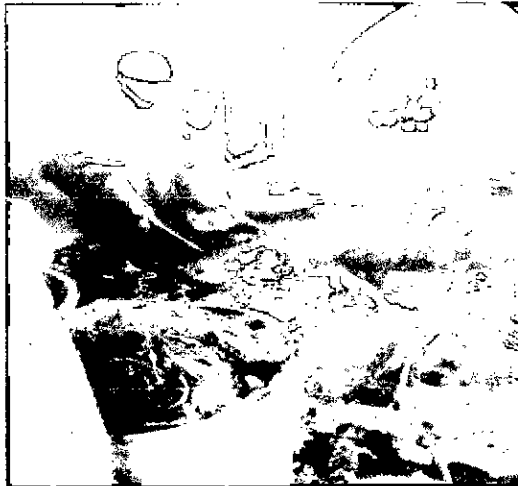
Después de asegurar la limpieza del animal, este pasa al cuarto de matanza donde se realiza el sacrificio, y se deja desangrando lo más completo posible por 5 minutos aproximadamente cuyo proceso es realizado por especialistas en el camal de Carhuaz- Ancash para posteriormente pasara a la etapa de pelado y corte.

**Figura 2. 1**  
**Desangrado de ganado vacuno**



**Fuente propia**

**Figura 2. 2**  
**Desangrado de ganado porcino**



**Fuente propia**

**d) Pelado y corte**

En esta etapa se cortan las patas, se desprende la piel de la cabeza junto con las orejas, una vez realizado este proceso se abre el cuerpo del animal longitudinalmente para extraer vísceras y demás órganos, los que posteriormente deben ser clasificados y lavados.

**Figura 2. 3**  
**Pelado de ganado vacuno**



**Fuente propia**

**Figura 2. 4**  
**Corte de ganado vacuno**



**Fuente propia**

**Figura 2. 5**  
**Corte de ganado ovino**



**Fuente propia**



**e) Lavado, inspección y pesado de los cortes.**

Las diferentes piezas y órganos son clasificados y lavados para luego pasar a su análisis y así autorizar su salida al mercado de acuerdo a la calidad, posterior a este proceso también se realiza el tratamiento de vísceras tales como: corazón riñones pulmones, estomago, se realiza de igual forma la clasificación y el lavado con bastante agua.

**Figura 2. 6**

**Lavado en el faenamiento**



**Fuente propia**

**f) Limpieza y preparación de pieles,**

El cuero se lava con abundante agua, se quitan manualmente los restos de grasa y se salan. Si los cueros no son transportados el mismo día se les agrega abundante sal y se almacena. (FAO, 2003)

**2.4. Contaminación del agua en un camal.**

El consumo del agua en un camal es indispensable debido a que es necesario realizar procesos de lavado en diversas etapas para asegurar la higiene en los animales antes y después de ser sacrificados, esto conlleva a que el agua se contamine, esto también debido a diversos factores que interviene:

- Especie de animal (bovino o porcino)
- Clase y capacidad de las instalaciones.
- Intensidad en el lavado de animales y en el saneamiento del área de proceso.

En cada etapa del proceso de faenamiento se obtiene residuos líquidos el cual está altamente contaminados y son:

**a) Recepción de animales y lavado de camiones:** En esta etapa las aguas residuales contienen principalmente restos de productos de limpieza con restos orgánicos procedentes de la orina y deyecciones de los animales.

**b) Estabulación:** Durante la estabulación los animales orinan y defecan, confiriéndole el agua residual de esta sección un alto contenido en compuestos nitrogenados. Se estima un consumo de agua entre grande para la limpieza de los establos.

**c) Aturdido:** Debido a las características de esta operación el animal va a producir una gran cantidad de orina, que conlleva una contaminación del agua con compuestos nitrogenados.

**d) Sangrado:** A pesar de que se disponga de métodos de recolección de sangre, siempre habrá pérdidas por goteo, que van a conferirle al agua una alta carga en materia orgánica. La sangre cruda del animal tiene una DBO<sub>5</sub> de 200000 mg/L. la eliminación de sangre del efluente es la medida correctora más importante para disminuir la contaminación de las aguas residuales de los mataderos.

**e) Escaldado (porcino):** Las aguas residuales que se originan incluyen grasas, sólidos en suspensión, proteínas, sangre, excrementos y otros compuestos orgánicos.

**f) Chamuscado (porcino):** En esta operación se van a generar aguas residuales con elevada carga orgánica (restos de pelos, escamas de piel, etc.).

**g) Eviscerado y Lavado:** Las aguas residuales proceden del lavado de las canales, arrastrando una elevada carga orgánica.

**h) Triperías:** Las aguas residuales proceden del lavado de estómagos e intestinos, arrastrando una gran cantidad de materia orgánica (restos del contenido digestivo, etc.) y grasas procedentes de la tripa al eliminar la capa de mucosa y serosa propia de los intestinos, así como el desangrado de los estómagos.

**i) Lavado:** Las aguas residuales de esta operación son las más abundantes, y contienen sustancias orgánicas y grasas así como restos de agentes detergentes y desinfectantes.

## **2.5. Componentes del agua residual del camal.**

De acuerdo a los efluentes generados en el camal se tiene en cuenta el análisis de las siguientes sustancias como: DBO, PH, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, Aceites y grasas, color, otros.

### **2.5.1. Componentes físicos.**

#### **a) Sólidos**

En las aguas residuales de un camal se encuentran todo tipo de sólidos orgánicos e inorgánicos; dentro de los sólidos orgánicos tenemos al carbón, hidrógeno y oxígeno, pudiendo combinarse con azufre fosforo y nitrógeno, esto conforman las proteínas carbohidratos y grasas. Dentro de los sólidos inorgánicos tenemos a los aceites, sales minerales y arenas.

#### **b) Gases Disueltos.**

El agua residual de un camal presenta pequeñas concentraciones de gases disueltos como el oxígeno, la cual está presente en el agua en estado original. Este oxígeno disuelto, es un factor muy importante en el tratamiento de aguas residuales ya que puede producir biogás.

**c) Turbiedad.**

La turbiedad es una medida de las propiedades de la luz de las aguas, su principal función es conocer la cantidad de luz que es absorbida o disipada por el material suspendido en el agua.

La causa de la turbiedad es por la desintegración de materiales arcillosos, por restos de plantas y microorganismos además también por presencia de detergentes y jabones utilizados en el camal. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)

**d) Color**

El color de agua es ocasionado por el sólido suspendido, material coloidal o sustancias en solución; el color aparente es causado por sólidos suspendidos y el color verdadero se obtiene mediante una muestra filtrada.

Una unidad de color corresponde al color generado por 1mg/l de platinato, de acuerdo a esto existe una tabla para estimar la condición general del agua residual.

**Cuadro 2. 1**  
**Condición general del agua residual**

<b>COLOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Café claro	El agua lleva 6 horas después de la descarga
Gris Claro	Aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.
Gris Oscuro o Negro	Aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias.

**Fuente: Tchoupanougus 2000**

**e) Temperatura.**

La temperatura del agua es generalmente menor que la temperatura del agua residual como consecuencia del uso de agua caliente para quitar los pelos de los animales. Es importante la temperatura debido a diversos procesos biológicos y reacciones químicas que ocurren en el agua.

**f) Sólidos Totales en Suspensión**

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente en forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 min. Los sólidos sedimentables se expresan en  $mg/l$  y constituyen una medida aproximada del fango que se obtiene en la decantación primaria del agua residual.

**2.5.2. Componentes químicos.**

Los componentes analizar en el agua tratada para determinar si es posible su reutilización son PH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno.

**a) El PH**

El PH es una expresión para medir la concentración de ion hidrógeno en una solución. Éste se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno.

$$PH = -\log_{10}(H^+)$$

**b) Alcalinidad**

Esta se define como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos con elementos como el calcio, magnesio solio amonio. Los fosfatos son originados también por los detergentes utilizados en el camal.

**c) Dureza**

La dureza se define como la concentración de cationes metálicos multivalentes en solución. Los cationes metálicos multivalentes más abundantes en las aguas naturales son el calcio y el magnesio, otros pueden incluir hierro, manganeso, estroncio y aluminio.

**d) Demanda Bioquímica de Oxígeno.**

La demanda Bioquímica de Oxígeno es “una medida indirecta del contenido de materia orgánica (M.O) biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno necesario para oxidar biológicamente la muestra orgánica en una muestra de agua en cinco días a una temperatura estandarizada de 20 °C cuyas unidades son mg O<sub>2</sub>/L” (*Ron Crites y George Tchobanoglous, Tratamiento de aguas residuales*)

**e) Demanda Química de Oxígeno.**

La demanda química de oxígeno es “una medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable, mediante el uso de una fuente oxidante en una muestra de agua. Su unidad es mg O<sub>2</sub>/L.” (*Ron Crites y George Tchobanoglous, Tratamiento de aguas residuales*)

**f) Relaciones entre DBO Y DQO.**

A continuación, se presenta un cuadro de comparación de parámetros como DBO Y DQO.

**Cuadro 2. 2**  
**Comparación de DBO/DQO**

<b>TIPO DE AGUA RESIDUAL</b>	<b>DBO/DQO</b>
<b>No tratada</b>	0,3-0,8
<b>Después de sedimentación primaria</b>	0,4-0,6
<b>Efluente final</b>	0,1-0,3

**Fuente: Tchobanoglous 2000.**

### 2.5.3. Componentes biológicos.

#### a) Microorganismo

Las bacterias desempeñan un papel amplio, de gran importancia en todos los procesos de descomposición y en la estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en algunas plantas de tratamiento. Los principales grupos presentes en el agua residual como superficial se clasifican en eucariota, bacterias y arqueobacteria.

**Cuadro 2. 3**  
**Clasificación de microorganismos**

<b>Grupo</b>	<b>Estructura Celular</b>	<b>Características</b>	<b>Miembros representativos</b>
Eucariota	Eucariota	Multicelular con gran diferenciación, de las células y tejido unicelular, con escasa o nula diferenciación de tejidos	Plantas (Plantas de semilla, Musgos y helechos). Animales (vertebrados e invertebrados) Protistas (Algas, hongos y protozoos)
Bacterias	Procariota	Química celular parecida a los Eucariota	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanogénesis, halófilos, termacidófilos.

Fuente: Metcalf 1996

#### b) Organismos Patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en el agua residual pueden proceder de desechos humanos que están infectados o que son portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos

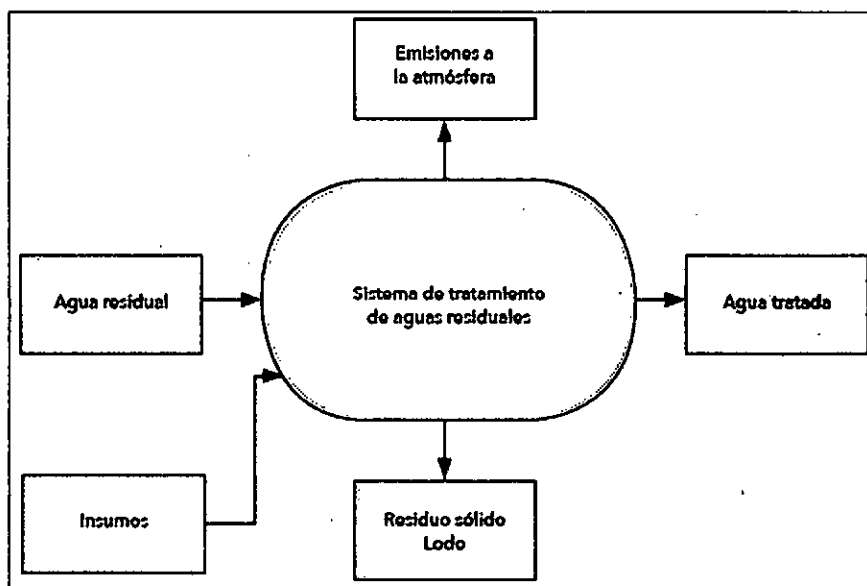
patógenos presentes en el agua residual son las bacterias, virus y protozoarios.

## 2.6. Tecnologías para tratamiento de aguas residuales

Existen diversas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales las cuales ayudaran a mejorar la calidad del agua residual y así poder reutilizarlo, para lo cual se dividen en tratamientos fisicoquímicos, tratamientos biológicos y tratamiento de lodos, pero el común denominador se presenta en gráfico 2.1. Sobre el proceso que se realiza con cualquier tecnología en el tratamiento de aguas residuales.

**Figura 2.7**

### **Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales**



**Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM 2013**

Para seleccionar la tecnología más adecuada para el tratamiento de aguas residuales se tiene que tener a dos grandes grupos como son los tratamientos biológicos y los tratamientos fisicoquímicos.



### **2.6.1. Tratamiento fisicoquímico**

Este tipo de tratamiento hace uso de procesos físicos y procesos químicos; en cuanto al tratamiento físico se utilizan los siguientes procesos:

- Uso de la gravedad
- Filtración por retención física
- Atracción electrostática
- Otros.

En los procesos químicos en el tratamiento de aguas residuales se hacen uso de:

- Coagulación
- Absorción
- Oxidación
- Precipitación

### **2.6.2. Tratamiento biológico.**

En el tratamiento biológico se involucra en la degradación o transformación del material orgánico por medio de microorganismos.

En este tipo de sistema se presentan dos tipos de sistemas:

#### **a) Sistemas aerobios.**

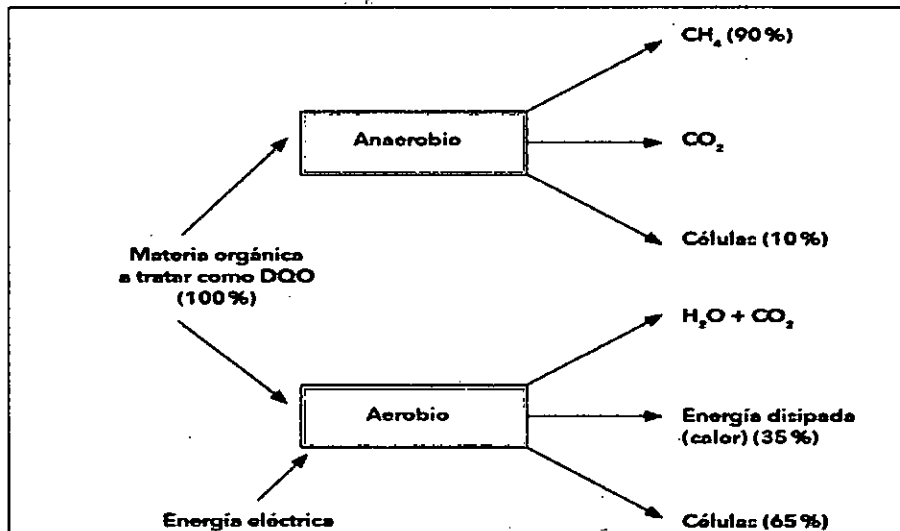
Este tipo de sistema se caracteriza porque en su tratamiento necesitan del oxígeno molecular disuelto

#### **b) Sistemas anaerobios.**

Este tipo de sistema se caracteriza porque en su tratamiento no se necesita el oxígeno

Figura 2. 8

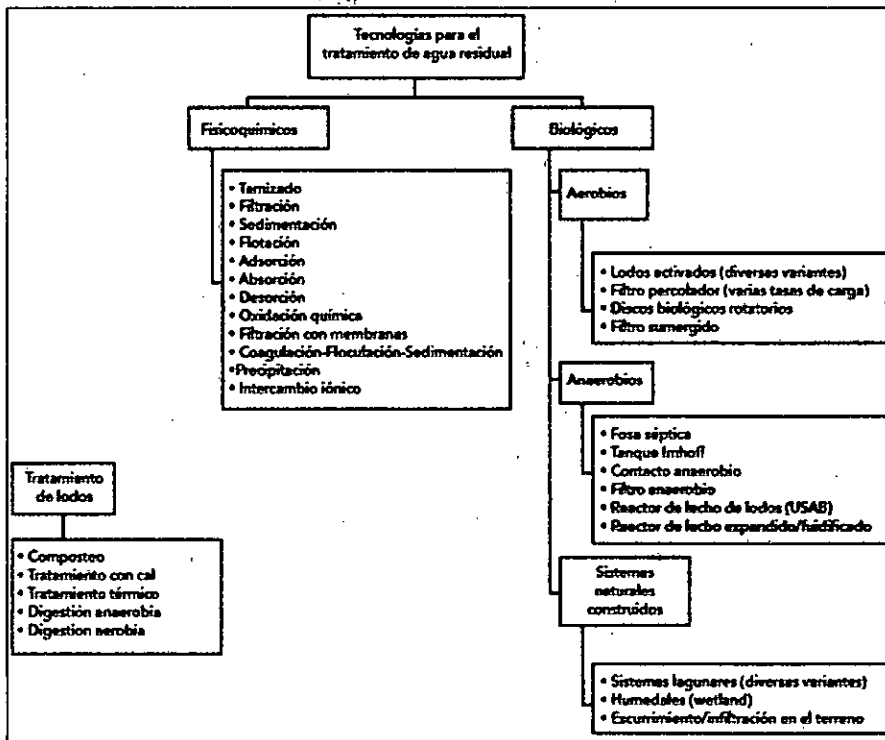
Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del Tipo de tratamiento aplicado



Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM 2013

Figura 2. 9

Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales



Fuente: Instituto de Ingeniería de la UNAM 2013

## **2.7. Tratamiento de aguas por lodos activados**

### **2.7.1. Lodo activado.**

El Lodo activado es un término usado para describir los depósitos ricos en microbios que se establecen en los tanques y en las cuencas y que gradualmente se agregan a las aguas residuales que ingresan a una planta de tratamiento de lodos activados

### **2.7.2. Proceso para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados.**

En este proceso, los microorganismos se encuentran en suspensión en las aguas residuales. La aireación del agua residual en el tanque de aireación suministra oxígeno a los microorganismos aerobios. Como resultado del metabolismo se agrupan en flóculos, que constituyen el llamado lodo activado

Éste se separa seguidamente por sedimentación del agua residual depurada (decantación secundaria). Con la corriente de agua residual salen del tanque de aireación más lodos activados de los que se pueden formar de nuevo en el mismo periodo de tiempo. Para compensar esta pérdida de biomasa, una parte del lodo activado se devuelve al tanque de aireación (lodo de retorno). La parte no recirculada (lodo en exceso) es un residuo del proceso.

Este sistema de tratamiento de lodos activados cuenta con dispositivos para proveer aeración, mezclado y sedimentación.

Tal como lo explica el banco mundial el proceso de lodos activados tiene tres componentes básicos:

- a) Un reactor en el que los microorganismos se mantienen en suspensión. Aireados y en contacto con los residuos que se están tratando.
- b) Una fase de separación líquido-líquido.

c) Un sistema de reciclaje de lodos para hacer volver los lodos activados al comienzo del proceso.

### **2.7.3. Lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales**

En el tratamiento de aguas residuales se generan una serie de subproductos denominados "lodos residuales", donde se concentra la contaminación eliminada del agua residual. Los lodos producidos tienen componentes orgánicos, por lo que son susceptibles en entrar en fase de putrefacción y provocar decaimiento de la calidad del agua, además de producir malos olores, estos lodos producidos en el tratamiento biológico proceden de:

#### **a) Lodos primarios**

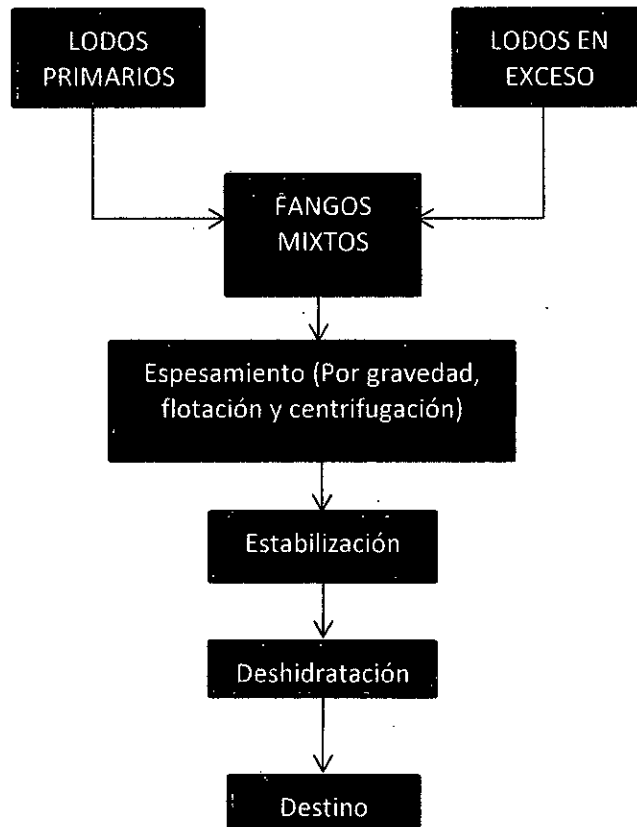
Este tipo de lodos tienen la característica de ser residuos pesados debido a que el porcentaje de materia orgánica fluctúa entre el 60% al 70%, esto debido a su tamaño de asimilación microbiana lenta. Estos lodos no sufren un tratamiento biológico, no se han descompuesto, por lo que son altamente inestables provocando olores. El color característico es gris, con alto contenido de sólidos fecales y otros tipos de desechos, cuyo contenido de humedad es del 95% aproximadamente

#### **b) Lodos secundarios**

Son sólidos procedentes del reactor biológico y son separados en el clarificador secundario, en algunos casos son recirculados para mantener una población microbiana adecuada en el tanque de aireación y por otra parte es eliminada constituyendo lo que se llama "lodos en exceso". Su color es marrón oscuro cuya humedad esta entre 98% al 99,5%, también ocupan un volumen importante y son de difícil manipulación.

**Figura 2. 10**

**Diagrama del proceso de fangos de una PTAR**



**Fuente: Alvis 2012**

### **2.8. Parámetros de diseño del equipo de lodos activados.**

Los procesos biológicos de cultivo en suspensión aeróbica, consisten en provocar el desarrollo de un cultivo en suspensión de microorganismos aeróbicos capaces de asimilar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. La denominación del proceso proviene de la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original de este tipo de sistema, pero todas con la misma base científica ( Tchobanoglous G. y Burton F. 1995).

### 2.8.1. Importancia del oxígeno en el sistema de lodos activados.

El oxígeno necesario para el desarrollo de la actividad microbiana, es suministrado a partir de compresores de muy buena capacidad, mediante difusores o bien aireadores mecánicos, con el fin de disolver el oxígeno presente en el agua residual.

Cuando la cantidad de oxígeno limita el crecimiento microbiano, hacen su aparición los microorganismos denominados filamentosos y este microorganismo empobrece las características de sedimentabilidad y calidad de fangos.

A partir de un balance de materia aplicado a la biomasa del tanque de aereación considerando la velocidad de dilución  $D = t^{-1} = Q_0/V$  y la velocidad de crecimiento se obtiene:

$$\frac{dX_{v,a}}{dt} = \mu X_{v,a} - DX_{v,a}$$

Donde:

*D: Velocidad de dilución*

*X<sub>v,a</sub>: Concentración de microorganismos en el reactor*

*μ: Velocidad específica de crecimiento*

*X: Crecimiento de microorganismos*

En condiciones de estado estacionario la velocidad específica de crecimiento se iguala a la velocidad de dilución :

$$\mu = D$$

De esta manera se presenta que la velocidad de dilución es inversamente proporcional al volumen. En este sentido, para aumentar la capacidad de

tratamiento de la unidad de lodos activos se recurre a la recirculación parcial de los lodos biológicos que abandonan el reactor.

### **2.8.2. Parámetros del tanque de aireación.**

Dentro de los parámetros utilizados para el diseño de tanque de aireación se toman en cuenta dos magnitudes importantes como la edad de lodos (tiempo de retención celular) y la relación A:M ; en el agua residual de un camal los sólidos volátiles en suspensión oscilan entre 2000-3000mg/l de los cuales las tres cuartas partes son volátiles entre 1500-2250 mg/l aproximadamente , pero es importante que la concentración de los sólidos volátiles en suspensión sea alta, debido a que aumenta la velocidad de depuración , es por ello que esta velocidad del proceso está limitada por la velocidad de transferencia de oxígeno y por la sedimentación de lodos. Por el tiempo de residencia convencional que oscila entre 4 a 8 horas suelen eliminarse entre el 90% al 95% de DBO.

Otro factor importante es la carga orgánica cuya función es de medir la capacidad de tratamiento de la unidad de agua en kg de materia orgánica por unidad de capacidad de tanque y día, para los sistemas convencionales por lodos activados oscilan entre 0,4 y 1,2 Kg DBO/m<sup>3</sup> día.

#### **a) Edad de Lodos**

La edad de lodos  $\theta_c(d)$  o tiempo medio de retención celular (TMRC) es un parámetro importante en el tratamiento biológico debido a que es el tiempo medio en el cual permanecen los lodos en el interior del sistema antes de ser depurados mediante la purga junto al efluente. En la tabla de lodos convencionales éste parámetro tiene aproximadamente entre 5 a 15 días.

Es el parámetro de diseño y operación más utilizado en la actualidad como parámetro de control y equivale a la carga orgánica  $F/M$  , pues se tiene una correspondencia biunívoca con ella.

Una aproximación usual es la de considerar solamente los sólidos en el tanque de aireación respecto a los sólidos desechados. En tal caso, se puede definir al edad del lodos como:

$$\text{Edad del lodo} = \frac{\text{Masa de sólidos en el sistema}}{\text{Masa de sólidos retirada diariamente}}$$

Matemáticamente:

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w + (Q - Q_w) X_e} \text{ dias}$$

Donde:

$V$  = Volumen del reactor ( $m^3$ )

$X$  = Sólidos suspendidos en el tanque de aireación ( $mg/l$ )

$Q_w$  = Caudal de desecho de lodo ( $m^3/dia$ )

$X_w$  = Sólidos suspendidos en el lodo de desecho ( $mg/l$ )

$Q$  = Caudal efluente ( $mg/l$ )

$X_e$  = Sólidos suspendidos en el tanque de aireación ( $mg/l$ )

En el sistema de lodos activados se considera que opera en equilibrio estado estacionario, cuando la cantidad de sólidos es retirado diariamente es igual a la producción diaria de crecimiento bacteriano.

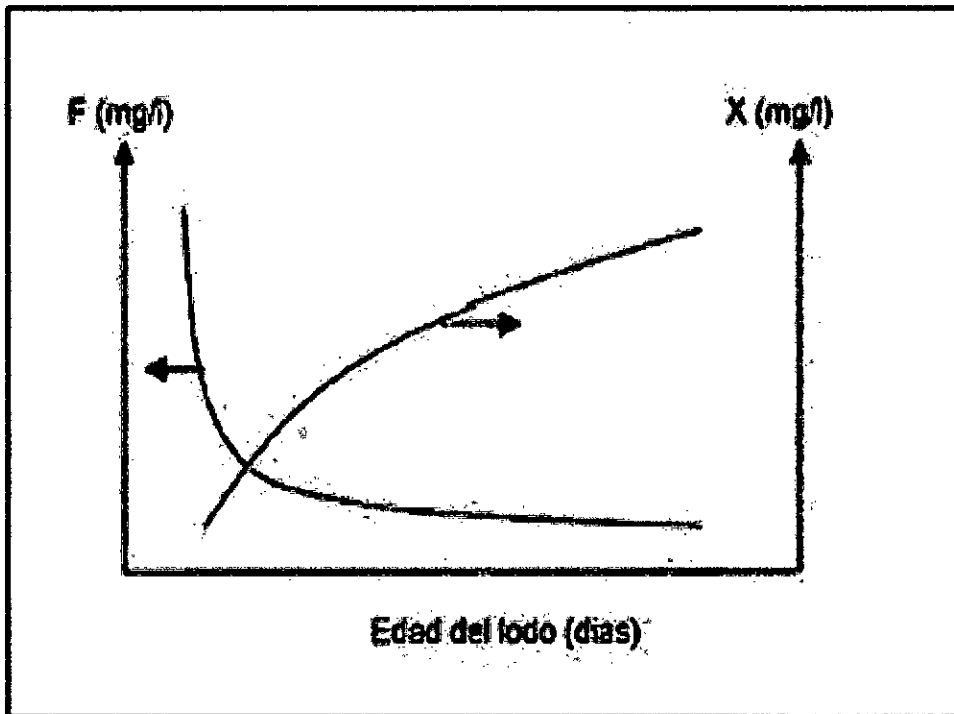
El sustrato disminuye con el aumento de la edad de lodo, de este modo debemos aumentar dicho parámetro, las condiciones ambientales pasan de condiciones de abundancia a condiciones de inanición.

Para lodos menores a 3 días se tiene que el sustrato (**F**) es grande y la biomasa (**X**) pequeña. Al aumentar la  $\theta_c$ , los microorganismos se adaptan a las condiciones menores, prosperando ciliados fijos y rotíferos, de bajas necesidades energéticas. Edades de lodos mayores a 15 días, trabajan en condiciones de inanición con respiración endógena predominante y nuevamente producir sólidos dispersos de baja asentibilidad.



Figura 2. 11

Variación del sustrato (F) y biomasa (X) con la edad del lodo



Fuente: Grimaldo 2003

b) Carga másica

Este parámetro representa la relación Alimento/Microorganismo (**A/M**), se puede considerar también como la energía disponible por los microorganismos durante la etapa de aireación. Como la relación interviene en la determinación de la actividad de lodos, está relacionada inversamente a la edad del lodo.

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Carga de DBO}_5 \text{ o DQO por día}}{\text{Masa de microorganismo}} \left( \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{Kg SST} \cdot \text{día}} \right)$$

Es decir :

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \times DBO_5}{XV}$$

Donde:

$Q =$  Caudal afluente ( $m^3/día$ )

$DBO_5 =$  Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $mg/l$ )

$X =$  Sólidos suspendidos totales ( $mg/l$ )

$V =$  Volumen del tanque de aireación ( $m^3$ )

Este parámetro es mucho más sensible a cambios debido a que la  $DBO_5$  no es constante durante el transcurso del día y aun con tanques de homogenización es difícil estimar el promedio. Si se quiere controlar a operación de un sistema de tratamiento con la relación  $F/M$ , se corre el riesgo de no acertar la carga deseada.

### 2.8.3. Parámetros del tanque de aireación.

En el tanque de sedimentación se suele aumentar entre 4 a 5 veces la concentración de sólidos. En este tanque se tiene dos parámetros importantes ; la velocidad de sedimentación zonal (VSZ) y el índice volumétrico; estos parámetros miden la capacidad de espesamiento. Estos dos parámetros se relacionan con  $A/M$  que es la relación entre el alimento y el microorganismo.

Para valores comprendidos entre 0,6 y 0,3 la velocidad de sedimentación zonal alcanza (VSZ) un máximo y el índice volumétrico de lodos (IVL) alcanza un mínimo, para estas condiciones la relación  $A/M$  es óptima.

**Cuadro 2. 4****Parámetros de diseño y operación de procesos de Lodos Activados**

Tipo de Proceso	Edad de lodos (días)	A/M	SSLM (mg/l)	Tiempo de retención (hr)	Fracción retorno (R)
-Convencional	5-15	0,2-0,4	1500-3000	4-8	0,25-0,5
-mezcla completa	5-15	0,2-0,6	2500-4000	3-5	0,25-1,0
-Aireación escalonada	5-15	0,2-0,5	2000-3500	3-5	0,25-0,7
-Aireación prolongada	20-30	0,05-0,15	3000-6000	18-36	0,5-1,5
-Alta tasa	1-3	0,4-1,5	4000-10000	2-4	1,0-5,0
-Estabilización por Contacto	5-15	0,2-0,6	1000-3000	0.5-1.0	0,5-1,5
-Aireación Extendida	20-40	0,04-0,1	2000-8000	18.36	0,5-1,5
-Oxígeno puro	3-10	0,25-1,0	2000-5000	8-20	0,25-1,5
-Proceso Krauss	5-15	0,3-0,8	2000-3000	4-8	0,5-1
-Zanjas de oxidación	10-30	0,04-0,1	3000-6000	8-36	0,75-1,5

**Fuente: Grimaldo 2003**

### 2.9. Determinación de Parámetros Biocinéticos

Para poder diseñar sistemas de tratamiento de aguas residuales en medio aerobio mediante lodos activados, es necesario conocer los parámetros biocinéticos, lo cual nos permitirá conocer el comportamiento de los lodos activos en un tipo de agua residual.

Al conocer estos parámetros biocinéticos tendremos valores del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, los kilogramos de los lodos producidos por oxidación de la materia orgánica contaminante y la constante de remoción de contaminantes, entre otros como el tiempo de residencia en el biorreactor, el volumen del biorreactor, el sistema de aireación y la recirculación de lodos al sistema de aireación.

Los microorganismos degradan la materia orgánica soluble en el agua residual siguiendo una cinética específica. Algunos modelos cinéticos conocidos para la remoción de DBO soluble son el de primer orden, el de orden variable o Monod y el de Grau.

De acuerdo a los datos experimentales que se encontrarán durante el proceso deben ajustarse a un *tipo de* cinética de remoción de los antes mencionados.

Para el modelo cinético de primer orden se obtendrá “*k*”, que es la constante específica de velocidad de remoción de sustrato ( $d^{-1} \times L/mg$ ); para la ecuación cinética de orden variable o Monod habrá que evaluar dos constantes,  $K_s$ , la de afinidad (mg/L) y la  $q_{max}$  de velocidad específica máxima de consumo de sustrato ( $h^{-1}$ ).

Los parámetros biocinéticos se obtienen basándose en la suposición de que el reactor está completamente mezclado y no hay limitaciones en cuanto a la actividad de los lodos activados por oxígeno o algún nutriente (fósforo o nitrógeno). Por otra parte, los parámetros se definen de la siguiente manera:

- $k$  = Constante específica de velocidad de remoción de sustrato ( $d^{-1} \times L/mg$ ); para el modelo cinético de primer orden.
- $K_s$  = Constante de afinidad (mg/ L); modelo cinético de orden variable o monod.
- $q_{max}$ . = Constante de velocidad específica máxima de consumo de sustrato ( $h^{-1}$ ); modelo cinético de orden variable o monod.
- $Y$  (rendimiento) = Producción de lodo biológico / kg de DBO removida (kg ssv / kg DBO<sub>r</sub>).
- $a$  = kg de O<sub>2</sub>, (en la oxidación de sustrato) / kg de DBO removida.
- $b$  = kg de O<sub>2</sub>, (para respiración endógena)/día kg ssv en el reactor.
- $k_d$  (constante de decaimiento o muerte) = kg de ssv (oxidados por respiración endógena)/día kg ssv en el reactor.

### 2.9.1. Ecuaciones para la determinación de los parámetros biocinéticos.

Determinación de la constante de velocidad específica de consumo de sustrato "k" para el modelo cinético de primer orden.

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = kS_e$$

Dónde:

$S_0$  = concentración DBO<sub>5</sub> inicial antes del tratamiento (mg/l)

$q$  = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

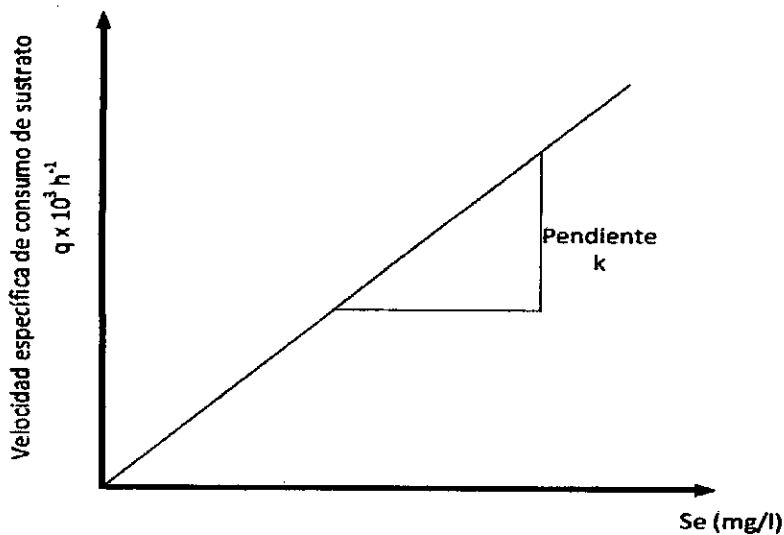
$S_e$  = concentración de DBO o DQO en el reactor (mg/l)

$X_{va}$  = concentración de SSV en el reactor (mg/l)

$t_h$  = tiempo de residencia hidráulico (d) =  $V/Q$

Figura 2. 12

#### Determinación Gráfica de k



Fuente: Ramalho 1993

Determinación de las constantes biocinéticas  $k_s$  y  $q_{\max}$  para modelo cinético de orden variable o Monod.

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = q_{\max} \times \frac{S_e}{K_s + S_e}$$

Ordenando la ecuación en forma lineal

$$\frac{1}{q} = \frac{k_s}{q_{\max}} \times \frac{1}{S_e} + \frac{1}{q_{\max}}$$

Dónde:

$q_{\max}$  = máximo de remoción de sustrato ( $d^{-1}$ )

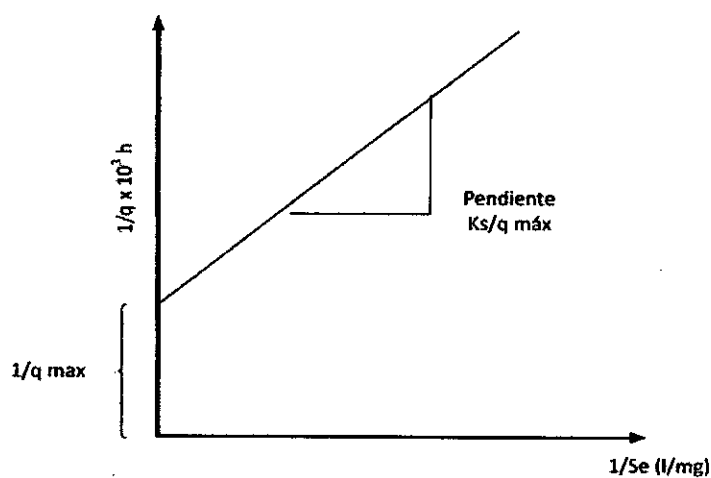
$q$  = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

$K_s$  = constante de afinidad ( $mg/l$ )

$S_e$  = concentración de DBO en el reactor ( $mg/l$ )

**Figura 2. 13**

**Determinación Gráfica de  $k_s$  y  $q_{\max}$**



**Fuente: Ramalho 1993**

Determinación de las constantes biocinéticas  $k_1$  para modelo cinético de

Grau:

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = k_1 \cdot \frac{S_e}{S_0}$$

Dónde:

$q$  = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

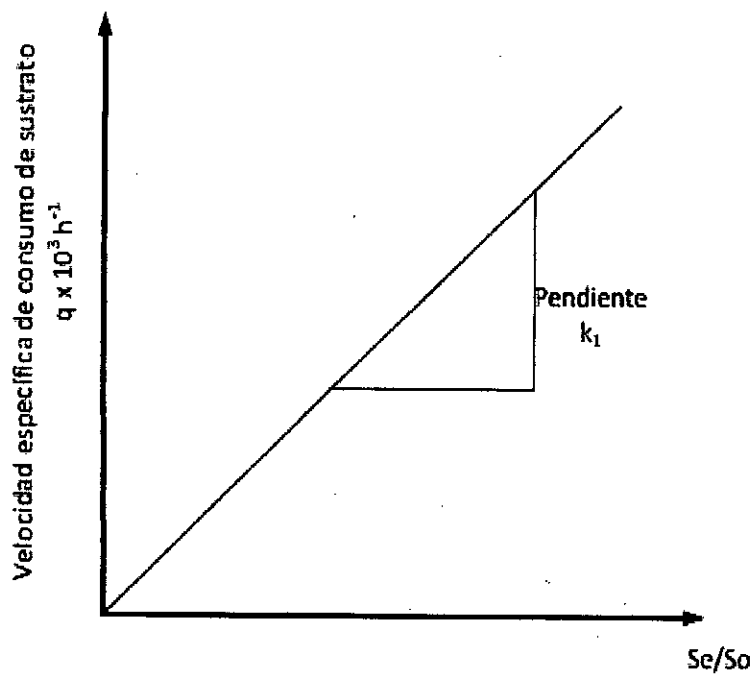
$k_1$  = constante específica de consumo ( $mg/l$ )

$S_e$  = concentración de DBO en el reactor ( $mg/l$ )

$S_0$  = concentración de DBO en el afluente ( $mg/l$ )

Figura 2. 14

Determinación Gráfica de la constante  $k_1$



Fuente: Ramalho 1993

Determinación de los parámetros de producción de biomasa (Y y kd)

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} = Yq - k_d$$

$$\mu = \frac{\frac{\Delta x_v}{V}}{X_{va}} = \frac{1}{\theta_c}$$

Dónde:

$\mu$ = velocidad específica de crecimiento ( $d^{-1}$ )

$q$ = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

$\Delta X_v$ = producción neta de lodos (Kg/d)

$V$ = volumen de la cámara

$\theta_c$ = Edad de lodos

$Y$ = rendimiento producido de lodo producido/ kg sustrato consumido

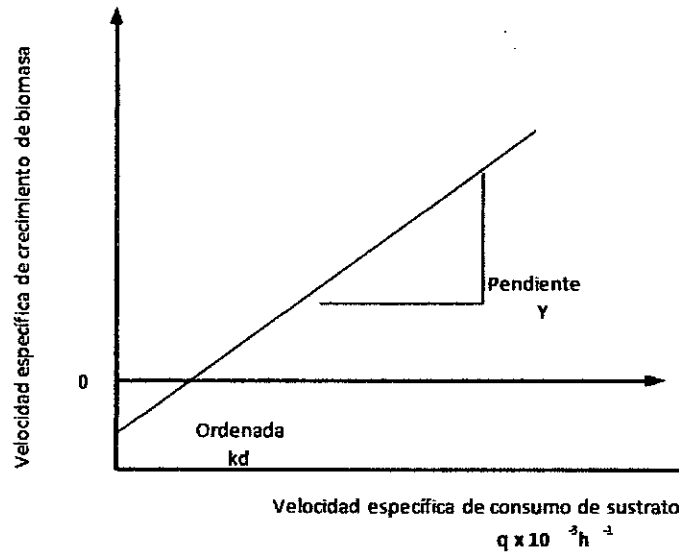
$k_d$ = constante de decaimiento endógeno SSV oxidada/  $d^{-1}$

El cálculo se hace con respecto a la pendiente y al intercepto con el eje Y, es decir cuando "q" es cero y podemos observarlos en la siguiente figura:



Figura 2. 15

Obtención de Y y kd



Fuente: Ramalho 1993

Determinación de los parámetros de utilización de oxígeno a y b

$$R_{O_2} = aq + b$$

$$R_{O_2} = \frac{VUO}{X_{va}}$$

Dónde:

a= kg de oxígeno en la oxidación de sustrato/kg de DBO removida

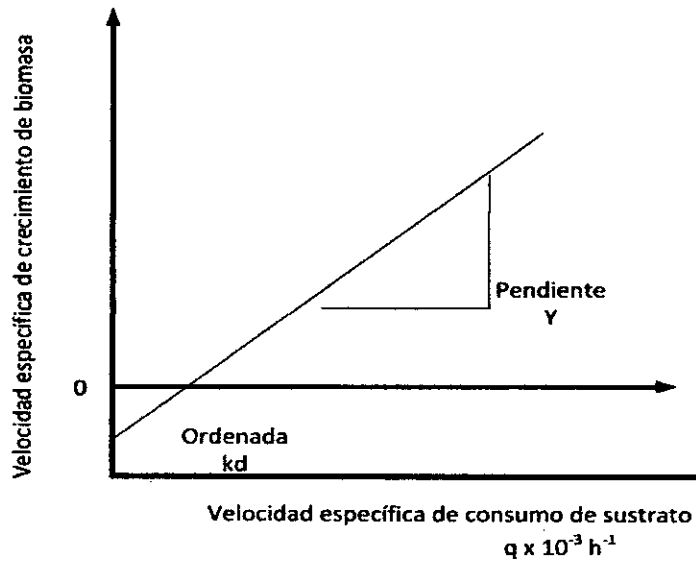
b= kg de oxígeno para respiración endógena/día kg de SSV en el reactor.

RO<sub>2</sub> =velocidad específica de consumo de O<sub>2</sub> (kg de O<sub>2</sub>/ (h kg SSV))

VUO= velocidad de utilización de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/ (L.min))

La siguiente figura nos muestra la gráfica:

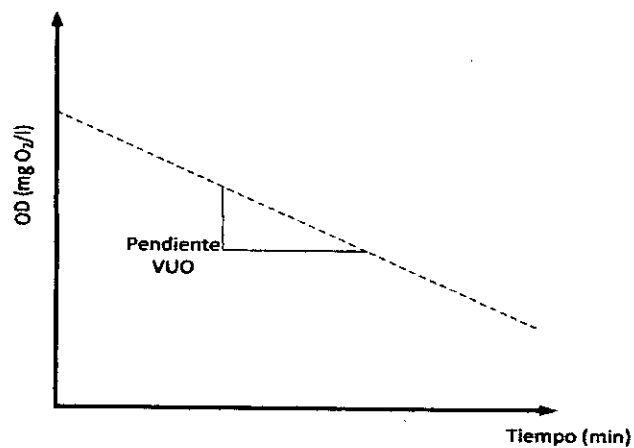
**Figura 2. 16**  
**Obtención de a y b**



**Fuente: Ramalho 1993**

Cálculo de la velocidad de utilización de oxígeno VUO

**Figura 2. 17**  
**Cálculo de la VUO**



**Fuente: Ramalho 1993**

## **2.10. Marco legal de los límites permisibles del agua residual de un camal**

Tenemos a organismo que se encargan de fiscalizar todo lo concerniente al agua las cuales son la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Ministerio del ambiente (MINAM) y el Ministerio de Salud (MINSa) con las Direcciones regionales de salud.

Algunos decretos, reglamentos y leyes sobre los estándares de calidad del agua y los límites máximos permisibles se presentan a continuación:

- a) La ley N° 29338, ley de recursos hídricos con el **D.S.N°001-2010-AG**, "REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HIDRICOS", en el
- b) Título V; capítulo VII donde nos menciona sobre la reutilización de aguas residuales siempre que cumplan con los estándares de calidad ambiental para agua y el límite máximo permisible ( LMP) en los artículos 147° al 152°.
- c) Se aprueba los límites máximos permisibles (LMP) para "*Efluentes de actividades agroindustriales tales como la planta de camales y plantas de beneficio*" mediante **D.S.N°001-2009- MINAM**.

### Cuadro 2. 5

**Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de la actividad agroindustrial como planta de camales y plantas de beneficio, incluyendo los mataderos en promedio diario**

	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>LMP</b>
I	<b>Generales</b>		
1	PH		6.0- 9.1
2	Sólidos suspendidos totales	mg/L	300
II	<b>Orgánicos</b>		
3	Demanda Bioquímica de oxígeno- DBO5 en 20°C	mg/L	250
4	Demanda Química de oxígeno. DBO	mg/L	500
III	<b>Inorgánicos</b>		
5	Fósforo Total	mg/L	40
6	Nitrógeno Total	mg/L	50

**Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM)-2009**

#### 2.11. Definición de términos

- **Aerobios:** Procesos con presencia de oxígeno.
- **Agua residual:** Es cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.
- **ANA:** Autoridad nacional del Agua.
- **Anaerobio:** Procesos sin presencia de oxígeno.

- **Beneficio:** Es el sacrificio de animales para la producción de la carne de consumo humano.
- **Camal:** Es un establecimiento destinado al beneficio de ganado (vacuno, ovino, etc.) y aves (pollo) para consumo humano y donde se realiza la clasificación, por el médico veterinario, de la carne (extra, primera, segunda).
- **Contaminantes:** Sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que al incorporarse al cuerpo receptor o al actuar sobre él, degradan o alteran la calidad que tenía antes de dicha acción, en niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano.
- **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- **ECA:** Estándares de Calidad Ambiental del Agua
- **LMP:** Límites máximos permisibles
- **Lodos activados:** Es un término usado para describir los depósitos ricos en microbios
- **Inanición:** Extrema debilidad física provocada por la falta de alimento.
- **Microorganismos:** También llamado microbio, es un ser vivo que solo puede visualizarse con el microscopio. La ciencia que estudia los microorganismos es la microbiología
- **MINAM:** Ministerio del Ambiente.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Definición de las variables de la investigación

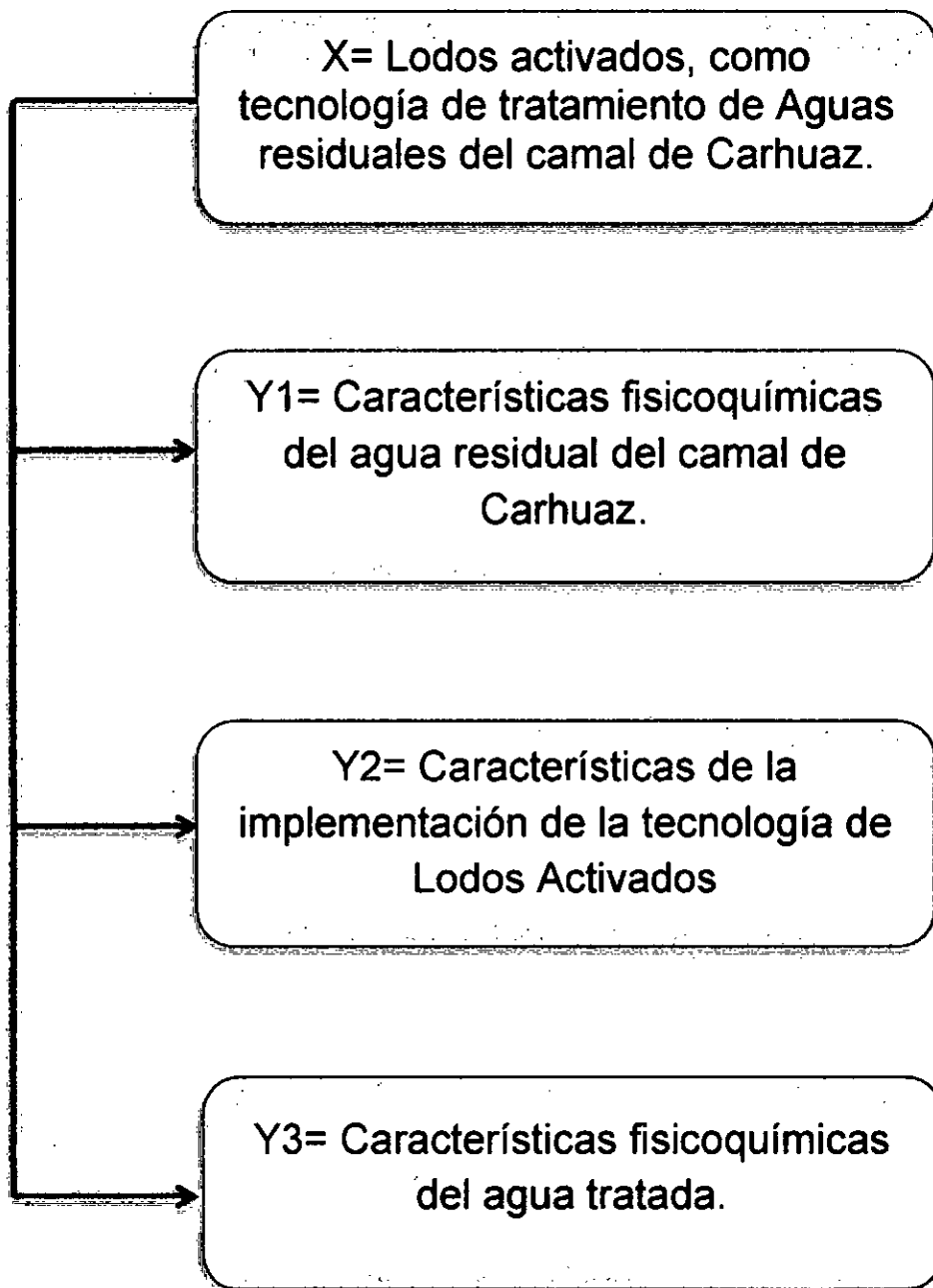
La presente investigación se caracteriza por ser longitudinal estudiando la variable a lo largo del tiempo establecido, por ser éste el determinante en la relación causa efecto.

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cualitativas. Por su dependencia X es dependiente, y las variables Y1, Y2, Y3 son independientes.

Es decir:  $X=f(Y1, Y2, Y3)$ . La figura 3.1 muestra la relación entre las variables.

**Figura 3. 1**

**Relación de las Variables de la Investigación**



**Fuente propia**

### 3.2. Operacionalización de variables

Cuadro 3. 1

#### Operacionalización de variables

VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X= Lodos activados, como tecnología de tratamiento de Aguas residuales del camal de Carhuaz	Eficiencia del tratamiento	Porcentaje de remoción de Contaminantes	-Experimental mediante las normas APHA. -Revisión de normas técnicas
VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y1= Características fisicoquímicas del agua residual del camal de Carhuaz.	Calidad del agua residual del camal de Carhuaz	-BDO inicial  - DBO inicial  - Sólidos suspendidos totales	- APHA – AWWA – WEF – 5210-B 5 Day Test 22 <sup>nd</sup> 2012 - APHA-AWWA-WEF: 5220 B. OPEN REFLUX METHOD CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) - SMEWW – APHA – AWWA – WEF 2540 D 22 Ed.
Y2= Características de la implementación de la tecnología de Lodos Activados	Sistema de tanques mediante aireación.	-Tamaño  -Flujo  -PH	- Experimental. -Experimental -Experimental
Y3= Características fisicoquímicas del agua tratada.	Calidad del agua tratada del camal de Carhuaz.	- BDO final  - DBO final  - Sólidos suspendidos totales	APHA – AWWA – WEF – 5210-B 5 Day Test 22 <sup>nd</sup> 2012 - APHA-AWWA-WEF: 5220 B. OPEN REFLUX METHOD CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) - SMEWW – APHA – AWWA – WEF 2540 D 22 Ed.

Fuente propia



### **3.3. Hipótesis general e hipótesis específicas**

#### **3.3.1. Hipótesis General**

El agua residual del camal de Carhuaz se trata mediante la tecnología de lodos activados en medio aerobio cumpliendo con los límites máximos permisibles que la ley demanda.

#### **3.3.2. Hipótesis Específicas**

- a) El agua residual del camal de Carhuaz tiene un alto contenido de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y *Sólidos Suspendidos Totales (SST)*.
- b) Las implementaciones son mediante el uso de soporte para la flora bacteriana en medio aerobio.
- c) Las características de las aguas tratadas están dentro de los límites máximos permisibles (LMP).

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo de Investigación

Los tipos de investigación que se realizaron en el presente trabajo de tesis son:

#### a) Por su finalidad

El tipo de investigación por su finalidad fue aplicado, puesto que con el tratamiento de aguas residuales del camal de Carhuaz se redujo las concentraciones altas de los parámetros fisicoquímicos que contaminan el *Rio Santa durante su disposición*.

#### b) Por su diseño interpretativo

El tipo de investigación por su diseño interpretativo fue experimental porque manipulamos el factor causal y así determinar el efecto deseado mediante el uso de un equipo de lodos activados.

#### c) Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados

El tipo de investigación por el énfasis de la naturaleza de datos manejados fue cualitativo y cuantitativo porque las variables que se utilizó en la investigación son cualitativas y cuantitativas, ya que mediante los muestreos realizados y posterior análisis en laboratorio se determinaron las concentraciones del afluente y el efluente; con dichos resultados se determinó la eficiencia de tratamiento con el equipo de lodos activados.

#### d) Por el nivel de estudio

El tipo de investigación por el nivel de estudio fue exploratorio, puesto que se logró presentar nuevos rumbos para la investigación en este campo del tratamiento de aguas residuales de camales.

## **4.2. Diseño de Investigación**

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Calidad Ambiental UNASAM – Huaraz y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

Con la teoría de diseño de plantas con la tecnología de lodos activados, se trabajó con un biorreactor de tanque agitado de flujo continuo de mezcla perfecta (CSTR), cuyo proceso se realiza con la presencia de microorganismos enfocándose en el porcentaje de remoción de la carga orgánica del camal de Carhuaz, además de la determinación del volumen y *parámetros de diseño de dicho reactor*.

Con la bibliografía y la información científica obtenida se cuantificó algunas variables con el propósito de obtener todas las variables para realizar un diseño adecuado de nuestro equipo para tratar el agua residual del camal de Carhuaz.

**PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN**  
Identificar Y1  
Método

- Análisis de laboratorio con técnicas APHA

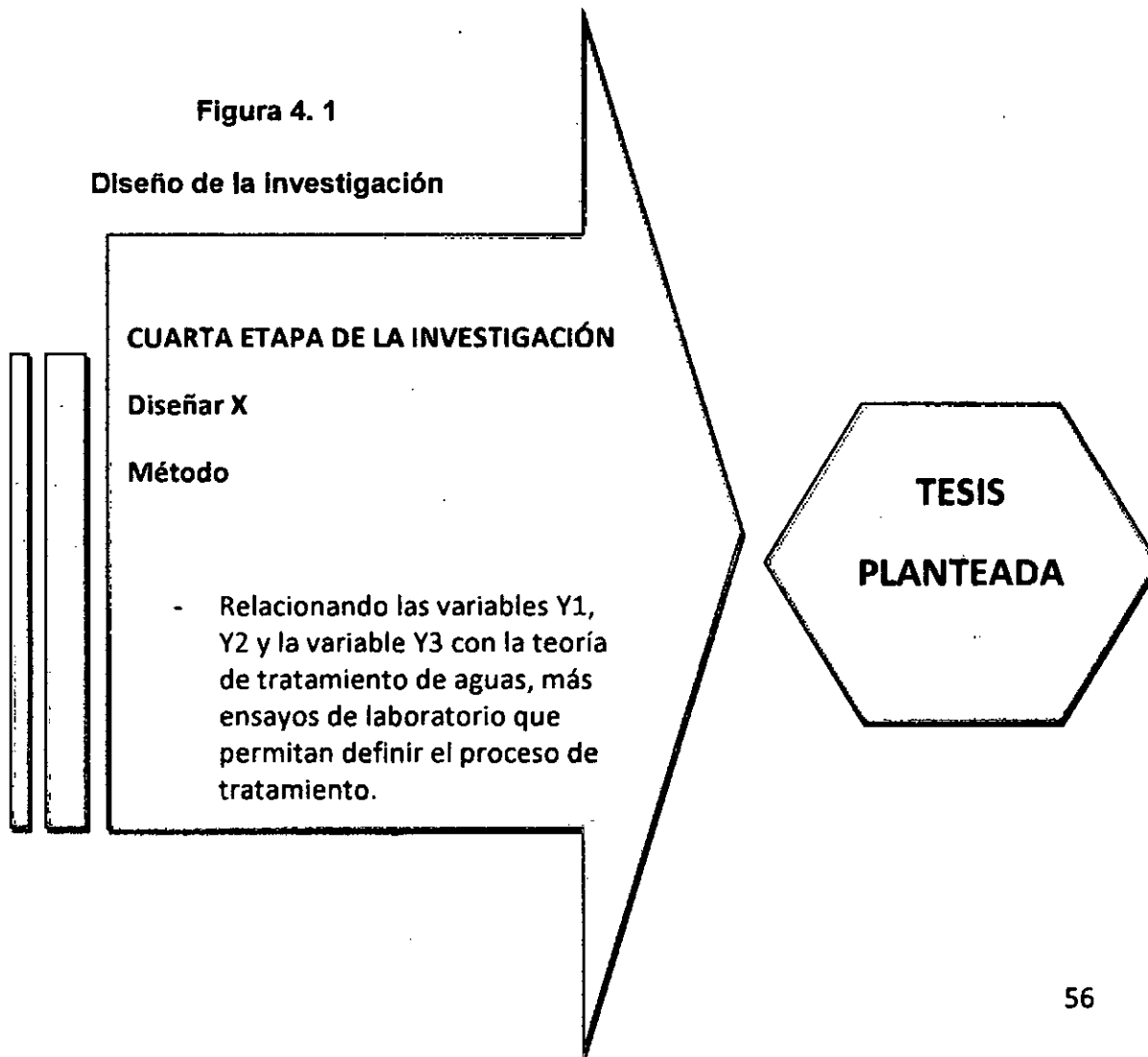
**SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN**  
Identificar Y2  
Método

- Experimental
- Entrevista a especialistas

**TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN**  
Identificar Y3  
Método

- Análisis de laboratorio con técnicas APHA

**Figura 4. 1**  
**Diseño de la Investigación**



#### **4.2.1. Etapas de la Investigación**

La investigación propuesta presentó cuatro etapas.

##### **a) Primera etapa de la investigación**

En la primera etapa de la investigación se recurrió al análisis de laboratorio de la variable de investigación. Que en este será la variable Y1 (análisis de laboratorio), con el propósito de identificar las características que presenta nuestra variable.

##### **b) Segunda etapa de la investigación**

En la segunda etapa de la investigación se realizó la revisión de bibliografía sobre implementación y diseño de equipos a nivel laboratorio de planta de tratamiento de aguas residuales con lodos activados vinculada a la variable de investigación. En esta etapa la variable será Y2, con el propósito de identificar algunos argumentos científicos, antecedentes de estudios y bases científicas.

##### **c) Tercera etapa de la investigación**

En la tercera etapa de la investigación se realizó la revisión de normas de estándares de calidad ambiental de aguas vinculada a la variable de investigación. En esta etapa la variable será Y2, con el propósito de determinar sus características fisicoquímicas del agua tratada consiguiendo argumentos científicos, antecedentes de estudios y bases científicas.

##### **d) Cuarta etapa de investigación**

En la cuarta etapa de la investigación con la teoría y la información lograda tanto en la primera etapa como en la segunda etapa y tercera etapa, se realizó un riguroso análisis de la información y se procede a realizar las corridas experimentales que comprobarán las hipótesis planteadas inicialmente. En esta etapa se identifica a la variable X.

### 4.3. Población y Muestra

4.3.1. **Población:** Para determinar la población de la presente investigación, se realizó un monitoreo del caudal de agua utilizada en el sacrificio de los animales en el camal de Carhuaz y dicho Volumen total de agua utilizada por día en el camal de Carhuaz para el sacrificio de los animales es de 20 m<sup>3</sup>.

**Cuadro 4. 1**

**Cantidad de animales que se sacrifican diariamente**

TIPO DE GANADO	BENEFICIO DIARIO	VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA POR DÍA (m <sup>3</sup> /Día)	VOLUMEN TOTAL DE AGUA POR DÍA (m <sup>3</sup> /Día)
VACUNO	24	0,5	12
OVINO	17	0,05	0,85
PORCINO	20	0,25	5
LAVADO Y LIMPIEZA	10 personas	0,2	2
<b>TOTAL</b>			<b>19,85</b>

**Fuente Propia**

4.3.2. **Muestra:** La muestra de agua utilizada para el tratamiento es de 60 litros, este volumen se determinó debido a que el equipo fue diseñado para un volumen de 50 litros a esto le sumamos las muestras de agua que se lleva al laboratorio para su respectivo análisis.

### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos fue de la siguiente manera:

- a) **Toma de muestra:** Se realizó en varios tiempos, desde que inicia el beneficio, en el tiempo de mayor contaminación y al terminar el beneficio, lo cual se realizó en 3 horas diferentes.
- b) **Traslado a laboratorio:** Se trasladó en un cooler de laboratorio especial para almacenar frascos y con la ayuda de un refrigerante se mantuvo la temperatura a 5°C.
- c) **Análisis de laboratorio del afluente:** Se realizó inmediatamente al llegar al Laboratorio de Calidad Ambiental, ya que los parámetros a analizar se tienen que procesar en menos de 24 horas. Todos los análisis se basaron en las normas APHA en su 22<sup>nd</sup> edición.
- d) **Prueba de test de jarras:** Se realizó un pretratamiento del afluente con la ayuda de un floculante y coagulante a diferentes concentraciones y tiempo antes de ingresar al reactor biológico.
- e) **Prueba para determinar el tiempo de retención hidráulica:** Se realizaron pruebas a diferentes horas de aireación para determinar cuál es el tiempo necesario para degradar al máximo la carga orgánica.
- f) **Simulación de la sedimentación secundaria:** se utilizaron conos Imhoff para sedimentar el agua tratada para ver que tanto se logró decolorar.
- g) **Diseño y construcción del equipo:** luego de conocer los parámetros biocinéticos mediante las pruebas y análisis de laboratorio se procede a diseñar el equipo mediante cálculos matemáticos para así poder realizar los planos y finalmente mandar construir el equipo.
- h) **Pruebas en el equipo:** se realizó pruebas de todo el tratamiento iniciando con la toma de muestra y continuamente todos las pruebas anteriormente mencionadas para el tratamiento en sí.
- i) **Parámetros controlados en el equipo:** Los parámetros controlados en el proceso fueron tiempo (horas), pH, Oxígeno disuelto (OD) y temperatura (°C).

- j) Análisis de laboratorio de agua tratada:** luego de finalizar todo el tratamiento, se toma una muestra y de la misma manera se traslada al laboratorio en unos coolers refrigerados a 5°C para su análisis inmediato.
- k) Revisión de bibliografía:** se revisaron proyectos, papers, tesis y libros relacionados al tratamiento de agua de camal, y también al tratamiento de agua mediante el uso de lodos activados.

#### **4.5. Procedimiento de recolección de datos**

##### **4.5.1. Toma de Muestra**

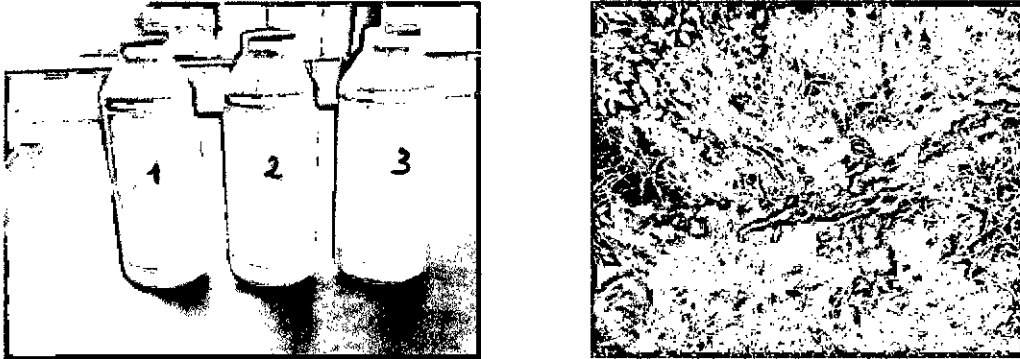
Se realizó la toma de muestra del agua residual proveniente del camal de Carhuaz, en el área de trabajo del camal, en la descarga final, río aguas arriba y río aguas abajo cumpliendo los protocolos de toma de muestra, posteriormente se analizarán en un laboratorio todas sus características fisicoquímicas y que presenta esta agua, como es también la presencia de sólidos suspendidos totales.

La toma de muestra se realizó al final de las canaletas por donde se vierte las aguas residuales del camal de Carhuaz, esto debido a que antes de este punto se tienen instaladas seis cajas para atrapar grasas y sólidos de grandes dimensiones.

El volumen muestreado fue de 60 litros en un tanque colector filtrado previamente con malla 50 para retener sólidos que aún llegaron a este último punto de muestreo, se realizó cumpliendo los métodos adecuados para no interferir en los resultados de los análisis fisicoquímicos de la muestra inicial que son nuestros parámetros para el diseño del equipo que tratará estas aguas residuales.



**Figura 4. 2**  
**Muestreo**



**Fuente propia**

**Figura 4. 3**  
**Descarga de agua residual al rio Santa**



**Fuente propia**

**Figura 4. 4**

**Descarga de agua residual al rio Santa**



**Fuente propia**

**Figura 4. 5**

**Descarga de agua residual al rio Santa**



**Fuente propia**

**A. Determinación de sólidos totales en suspensión por el método SMEWW – APHA – AWWA – WEF 2540 D**

**a) Objetivo**

El presente documento establece instrucciones complementarias para la determinación de Sólidos Totales en Suspensión (SST)

**b) Documentos de referencia**

SMEWW – APHA – AWWA – WEF 2540 D22 Ed. Total suspended Solids dried at 103 – 105°C.

**c) Indumentaria, materiales, equipos e insumos**

✓ **Indumentaria**

- Mandil
- Guantes
- Zapatos de seguridad

✓ **Materiales**

- Material de vidrio: probetas (25, 50 y 100 mL), matraz kitasato
- Filtros previamente lavados y secados

✓ **Equipos**

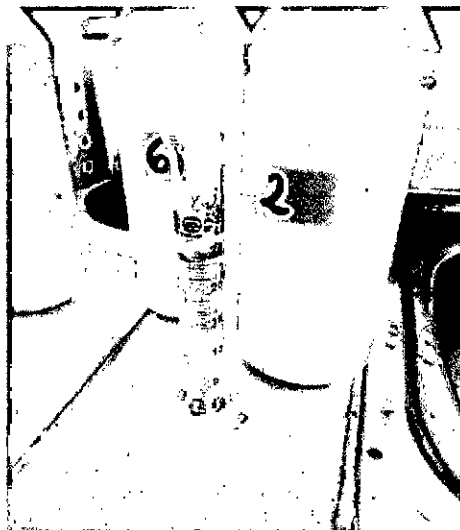
- Bomba de vacío
- Estufa
- Desecador

**d) Procedimiento**

- Se agita el frasco contenedor de muestra y se vierte 100mL en una probeta (si la muestra es muy turbia puede usarse un volumen de 25 o 50mL según sea el caso).

**Figura 4. 6**

**Medición de volumen de muestra**

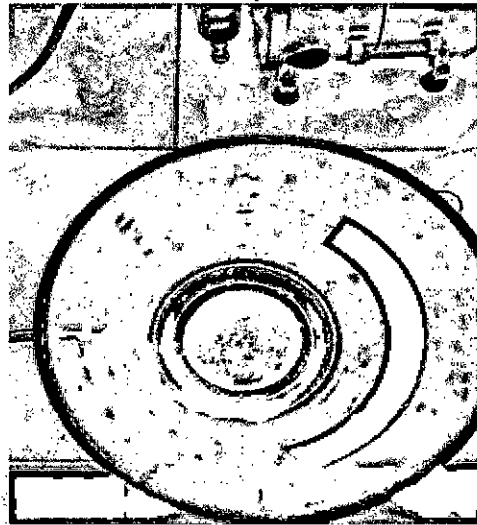


**Fuente propia**

- Filtrar con la ayuda de una bomba de vacío y un filtro previamente pesado hasta obtener un peso mínimo según norma de 200 mg.

**Figura 4. 7**

**Filtración de la muestra de agua residual**

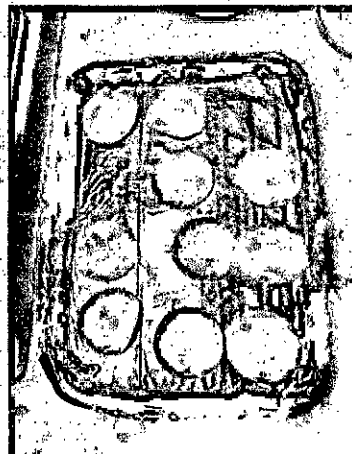


**Fuente propia**

- Secar el filtro en la estufa a 105°C hasta que esté completamente seco.

**Figura 4. 8**

**Secado de los filtros**

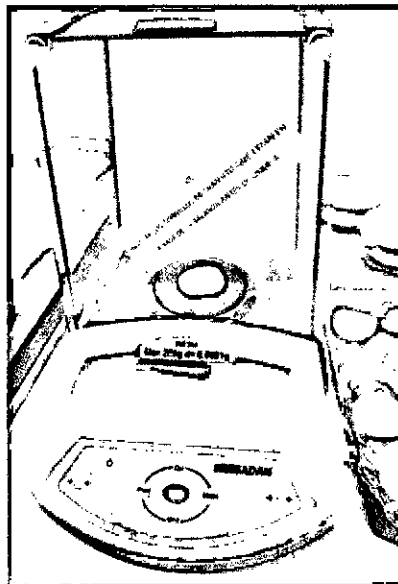


**Fuente propia**

- Enfriar en un desecador y pesar.

**Figura 4. 9**

**Pesado del filtro y los sólidos suspendidos**



**Fuente propia**

**B. Procedimiento para la determinación de aceites y grasas**

**a) Objetivo**

Establecer una instrucción que permita realizar el uso de un equipo Soxhlet para el análisis de aceites y grasas

**b) Documentos de referencia**

- MÉTODO APHA – AWWA – WPCF, Part 5520 – B/20th/1998

**c) Consideraciones**

En la determinación de aceite y grasa no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica. Más bien, se determinan cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en triclorotrifluoroetano. "Aceite y grasa" es cualquier material recuperado como sustancia soluble en triclorotrifluoroetano. Incluye otros materiales extraídos por el disolvente de una muestra

acidificada (tales como los componentes de azufre, ciertos tintes orgánicos, y la clorofila) y no volatilizados durante la prueba. Es importante que esta limitación se entienda con toda claridad. A diferencia de algunos componentes que representan elementos químicos, iones, compuestos o grupos de compuestos concretos, los aceites y grasas se definen por el método utilizado para su determinación.

Los métodos presentados en las normas APHA son adecuados para los lípidos biológicos y los hidrocarburos minerales. Pueden ser también apropiados para la mayoría de las aguas residuales industriales o los efluentes tratados que contengan estos materiales, aunque la complejidad de la muestra puede dar resultados bajos o altos debido a la ausencia de especificidad analítica. El método no es aplicable para medir fracciones de bajo punto de ebullición que volatiliza a temperaturas por debajo de 70°C.

#### **d) Definiciones**

Ciertos componentes medidos por análisis de aceite y grasa pueden influir en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales. Si se presentan en cantidades excesivas, pueden interferir con los procesos biológicos aerobios y anaerobios y llevan a reducir la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales.

Cuando son arrojados a las aguas residuales o los efluentes tratados, pueden crear películas de superficie y depósitos de borde de playa que llevan a la degradación del ambiente.

Es útil conocer la cantidad de aceite y grasa presente, para el diseño y funcionamiento adecuado de sistemas de tratamiento de aguas residuales y puede llamar también la atención de ciertas dificultades de tratamiento.

#### **e) Principio**

Los jabones metálicos solubles son hidrolizados por acidificación. Sólo los aceites y grasas sólidas o viscosas presentes se separan de las muestras líquidas por filtración. Después de la extracción en un aparato Soxhlet con

triclorotrifluoroetano, se pesa el residuo que queda después de la evaporación del disolvente para determinar el contenido en aceite y grasa. Los compuestos que volatilizan a 103°C o por debajo se perderán cuando se seque el filtro.

**Interferencia:** El método es completamente empírico y pueden obtenerse resultados duplicados sólo con ajustarse de forma estricta a todos los detalles. Por definición, cualquier material recuperado es aceite y grasa, por lo cual cualquier sustancia soluble en triclorotrifluoroetano filtrable. La velocidad y el tiempo de extracción en el aparato Soxhlet deben ser exactamente los especificados debido a la variable solubilidad de las diferentes grasas. Además, la duración del tiempo requerido para secar y enfriar el material extraído no puede ser alterada. Puede que haya un incremento gradual en el peso, debido presumiblemente a la absorción de oxígeno, y/o una pérdida gradual de peso debida a la volatilización.

**f) Indumentaria, materiales, equipos e insumos**

✓ **Indumentaria**

- Mandil
- Guantes
- Lentes de seguridad
- Zapatos de seguridad
- Pantalón antiácido
- Respirador

✓ **Materiales**

- Material de vidrio: embudo Buchner (12cm), probetas, pipetas, frasco, luna de reloj.
- Papel de filtro: 11cm de diámetro
- Dedal de extracción: Papel

- Discos de muselina: 11cm de diámetro

✓ **Equipos**

- Aparato de extracción Soxhlet
- Bomba de vacío
- Estufa

✓ **Insumos**

- Ácido clorhídrico 1M
- Triclorotrifluoroetano
- Suspensión de ayuda al filtro de sílice de diatomeas: 10g/L de agua destilada

**g) Procedimiento**

- Tómese alrededor de 1 litro de muestra en un frasco de vidrio de boca ancha y márchese el nivel de la muestra en el frasco para la determinación posterior del volumen de la muestra.
- Acidúlese a pH 2 o inferior; por lo general 5mL de HCl son suficientes.
- Prepárese un filtro que consista en un disco de muselina cubierto con papel de filtro.
- Humedézcase el papel y la muselina y doble los bordes del papel.
- Utilizando el vacío, pásense 100mL de suspensión de ayuda al filtro a través del filtro y lavar con 1L de agua destilada.
- Aplíquese el vacío hasta que ya no pase más agua por el filtro.
- Filtrese la muestra acidificada, aplíquese el vacío hasta que ya no pase más agua a través del filtro.
- Utilizando pinzas pásese el papel de filtro a un vidrio de reloj.
- Añádase materia adherente a los bordes del disco de muselina.



- Enjuáguese los lados y el fondo del vaso de recogida y del embudo Buchner con trozos de papel de filtro empapado en disolvente, teniendo cuidado de extraer todas las películas causadas por la grasa y recójase todo el material sólido.
- Añádase los trozos de papel de filtro al papel del filtro del vidrio de reloj.
- Enrólese todo el papel de filtro que contenga muestra y encájese en un dedal de extracción del papel.
- Añádase cualquier resto de material que quede en el cristal de reloj.
- Enjuáguese el vidrio de reloj con un papel de filtro empapado en disolvente y colóquese en el dedal de extracción del papel.
- Séquese el dedal lleno en una estufa a 103°C durante 30 minutos.
- Llénese el dedal con lana de vidrio o pequeñas cuentas de vidrio.
- Pésele el matraz de extracción.
- Extráigase el aceite y la grasa en un aparato Soxhlet, utilizando triclorotrifluoroetano a una velocidad de 20 ciclos/h durante 4 horas.
- Regúlese el tiempo desde el primer ciclo.
- Destílese el disolvente del matraz de extracción en un baño de agua a 70°C.
- Colóquese el matraz en baño María a 70°C durante 15 minutos y arrástrese el aire aplicando el vacío durante el último minuto.
- Enfríese en un desecador durante 30 minutos y pésese.

**C. Instrucciones adicionales para la determinación de demanda bioquímica de oxígeno y medición de oxígeno disuelto**

**a) Objetivo**

Establecer pautas a considerar durante el desarrollo del método para la siembra y reporte de DBO<sub>5</sub> en muestras de Agua para Uso y Consumo

Humano, Aguas Naturales (Aguas Superficiales y Agua Subterránea), Aguas Residuales y Aguas Salinas.

**b) Documentos de referencia**

- ✓ APHA – AWWA – WEF – 5210-B 5 Day Test 22<sup>nd</sup> 2012
- ✓ Procedimientos Simplificados de Análisis Químicos de Aguas Residuales, 2° Ed. 1995 – CEPIS
- ✓ Formulaciones en Métodos de Ensayo para la DBO, Agosto 1993 – CEPIS
- ✓ LAB – P – 16 Aseguramiento de Calidad de los resultados de ensayo
- ✓ ENVIDIV – IO – 12 Instrucción del medidor de oxígeno disuelto Marca YSI Incorporated Model 52

**c) Definiciones**

**Proceso de degradación bioquímica:** Es la medición del oxígeno molecular utilizado durante un período de incubación necesario (requerimiento de carbono) y el oxígeno utilizado para oxidar material inorgánico como sulfuros, hierro ferroso y/o formas reducidas del nitrógeno (para este ensayo). Los procedimientos de siembra y dilución dan una estimación de la DBO a un pH de 6 a 8.

**d) Indumentaria, materiales, equipos e insumos**

- ✓ **Indumentaria**
  - Mandil
  - Guantes
  - Lentes de seguridad
  - Zapatos de seguridad
  - Pantalón antiácido

✓ **Materiales**

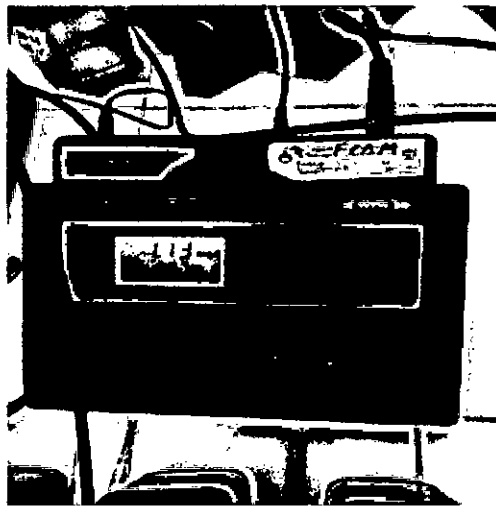
- Material de vidrio: Fiolas, pipetas volumétricas, probetas
- Agua purificada
- Contenedor Winkler

✓ **Equipos**

- Incubadora
- Oxímetro

**Figura 4. 10**

**Medición de Oxígeno Disuelto de la muestra inicial de agua residual**



**Fuente propia**

**e) Consideraciones generales**

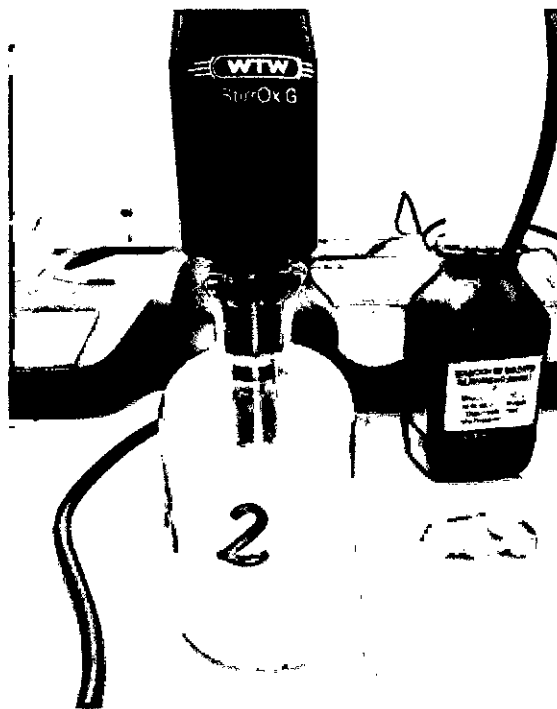
Para las lecturas del oxígeno disuelto inicial y final se utiliza un Oxímetro. Las muestras se colocan en la incubadora por cinco días.

**f) Instrucciones**

- Medir el pH inicial de la muestra, si el pH de la muestra es menor a 6 y mayor a 8 se debe ajustar el pH entre 7,0 – 7,2 con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o  $\text{NaOH}$  1N según sea el caso.
- La siembra de las muestras se realiza con agua de dilución, se debe hacer 3 diluciones como mínimo y para muestras limpias se debe tomar el máximo de muestra, ya que éstas en su mayoría no presentan una demanda de oxígeno considerable.

**Figura 4. 11**

**Medición de Oxígeno Disuelto de la dilución para DBO**



**Fuente propia**

**Figura 4. 12**

**Nutrientes para el agua de dilución**



**Fuente propia**

- La siembra se realiza evitando que queden burbujas de aire contenidas en la botella.
- De las tres botellas sembradas escoger una para leer el OD inicial, guardar en la incubadora las otras 2 botellas restantes con el protector del sello de agua y tapa hermética, luego de 5 días leer el OD final de la misma manera.

**D. Instrucciones adicionales para la determinación de DQO por el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 5220B**

**a) Objetivo**

Establecer pautas a considerar durante el desarrollo para la toma de muestra y patrones para la determinación de Demanda Química de Oxígeno por el método APHA-AWWA-WEF: 5220 B. OPEN REFLUX METHOD CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) – Validado.

**b) Documentos de referencia**

- SMEWW – APHA – AWWA – WEF: 5220 B. OPEN REFLUX METHOD CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)

- EPA 410.3 Chemical Oxygen Demand (Titrimetric, High Level For Saline Waters)
- SMEWW – APHA – AWWA – WEF 4500 Cl-B, 2012 22<sup>nd</sup> Ed. Chloride Argentometric
- SMEWW – APHA – AWWA – WEF 4500-NH3 G. Automated Phenate Method

**c) Definiciones**

**REACCIÓN ÓXIDO – REDUCCIÓN:** Se denomina **reacción de reducción-oxidación**, de **óxido-reducción** o, simplemente, **reacción redox**, a toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación. En este análisis se lleva a cabo este tipo de reacciones donde la mayoría de los tipos de materia orgánica se oxidan por una mezcla en ebullición de ácido crómico y sulfúrico. Una muestra se calienta a reflujo en solución fuertemente ácido con un exceso de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión, lo restante no reducido  $K_2Cr_2O_7$  se titula con sulfato de amonio ferroso a determinar la cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  consumida y el oxidable asunto se calcula en términos de oxígeno equivalente.

**d) Indumentaria, materiales, equipos e insumos**

✓ **Indumentaria**

- Mandil
- Guantes
- Lentes de seguridad
- Zapatos de seguridad
- Pantalón antiácido

✓ **Materiales**

- Material de vidrio: tubos de ensayo, pipeta automática, probetas, fioles, vasos de precipitado.
- Dispensador de ácido sulfúrico.

✓ **Equipos**

- Agitador magnético
- Campana extractora.
- Termoreactor
- Espectrofotómetro UV – VIS

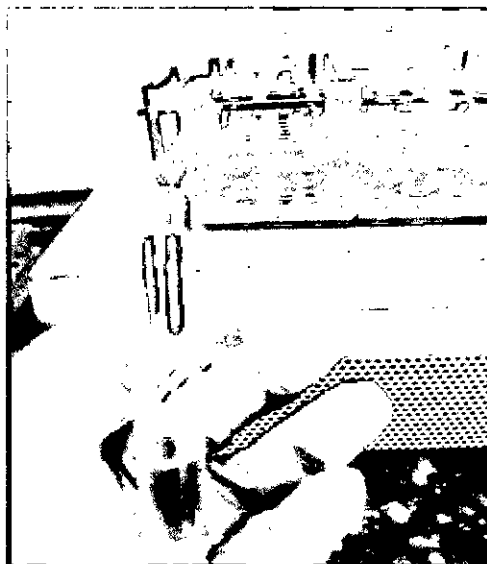
✓ **Insumos**

- Dicromato de potasio
- Ácido sulfúrico
- Agua purificada

e) **Procedimiento**

- Se toma en un tubo de ensayo 2,5 mL de muestra en agitación, tomando del punto medio entre el vórtice y la pared del frasco.
- En la campana extractora se adiciona 1,5 mL de  $K_2Cr_2O_7$ .

**Figura 4. 13**  
**Adición de  $K_2Cr_2O_7$  a la muestra**

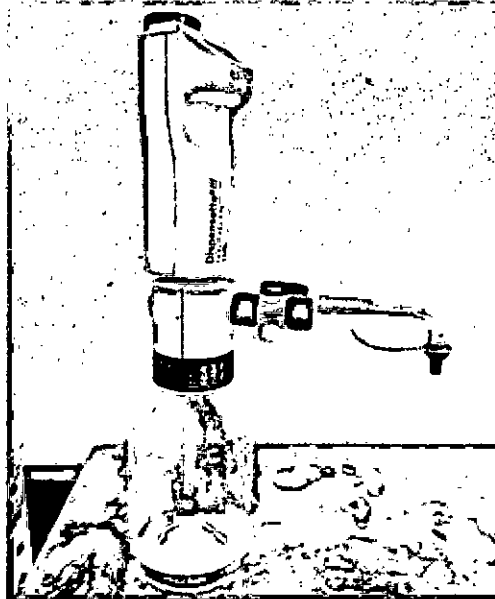


**Fuente propia**

- Luego se adiciona con sumo cuidado con la ayuda del dispensador 3,5 mL de  $H_2SO_4$  concentrado.

**Figura 4. 14**

**Adición de ácido sulfúrico a la muestra**



**Fuente propia**

- Se lleva a un termoreactor a 150°C por un tiempo de 2h para su completa digestión.

**Figura 4. 15**

**Digestión en el termoreactor**



**Fuente propia**



- Se deja enfriar a temperatura ambiente y se procede con la lectura en el espectrofotómetro.

## **E. Método para la determinación del PH en aguas**

### **a) Objetivo**

Establecer los lineamientos para el uso, el ajuste de la calibración, mantenimiento y limpieza del medidor de pH marca WTW modelo InoLab 7310 y la medición de pH en muestras de agua.

### **b) Definiciones**

**pH:** mide la concentración de iones hidrógeno en el agua.

**Calibración:** operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación (VIM)

### **c) Indumentaria, materiales, equipos e insumos**

#### **✓ Indumentaria**

- Mandil
- Guantes

#### **✓ Materiales**

- Material de vidrio: vasos de precipitado pequeños.
- Papel toalla.

#### **✓ Equipos**

- Potenciómetro WTW modelo InoLab 7310

#### **✓ Insumos**

- Soluciones amortiguadoras para calibración y control.
- Agua destilada.

**d) Procedimiento**

- Antes de realizar cualquier medición, se tiene que calibrar el equipo.
- Introducir el electrodo en las soluciones de control de pH 4; 7 y 10.
- Una vez calibrado el equipo se procede a medir el pH de las muestras en vasos de precipitado, previamente se enjuaga 3 veces el vaso y el electrodo con la muestra a medir.
- Esperar hasta que la medida se estabilice.

**4.5.2. Descripción de la planta de lodos activos a escala laboratorio.**

El equipo consta de las siguientes etapas:

- 1.-Un tanque de homogenización y/o recolección de muestra.
- 2.-Un sedimentador primario con un sistema de agitación para la coagulación y floculación del agua residual.
- 3.-Un tanque conformado por el reactor biológico, un sedimentador secundario y un canal de recolección de agua tratada.

Las dimensiones de los equipos son detalladas a continuación:

- 1.-El tanque de recolección, es un tanque de plástico con un volumen de 70L.
- 2.-El sedimentador primario es un tanque de acrílico de 6 mm de espesor, 0,35m de alto; 0,28m de ancho por 0,6m de largo (volumen 60 L).
- 3.-El tanque que tienen 3 divisiones es de acrílico de 6 mm de espesor, y las unidades son:
  - 3.1. Reactor biológico, 0,28 m de ancho; 0,5m de alto y 0,36m de largo (volumen 50 L).
  - 3.2. Sedimentador secundario; 0,28m de ancho, 0,5m de alto y 0,18m de largo (volumen 25 L).

3.3 Canal de recolección, 0,28m de ancho; 0.5m de alto y 0,06m de largo (volumen 8,5 L).

El tanque de homogenización cumplirá la función de homogenizar el agua recolectada del canal, la cual estará ubicada a una altura 20cm por encima de la parte superior del tanque de sedimentación primaria para que el agua de este tanque pase al tanque de sedimentación primaria por gravedad.

El tanque de sedimentación primaria consta de agitadores para realizar la coagulación y floculación y poder sedimentar las partículas más pesadas y poder obtener valores adecuados para el tratamiento secundario en el reactor biológico y el sistema funcione correctamente.

Este sedimentador primario alimenta al reactor biológico a través de una manguera de 10,8mm de diámetro y posterior al tiempo de retención en este reactor pasa al sedimentador secundario por un tubo de PVC de 5/8" para posteriormente pasar al canal de recolección donde ya se tiene el agua tratada para su posterior análisis.

#### **4.5.3. Materiales para la fabricación del equipo**

Los materiales utilizados para la fabricación del equipo y para el tratamiento mediante la tecnología de lodos activados son lo que a continuación se detalla:

- ✓ Tanque de plástico de 70 L con válvula incluida.
- ✓ Manguera de 10,08mm de diámetro.
- ✓ Manguera de 5,78mm de diámetro.
- ✓ Tuberías de PVC de 5/8" y una longitud de 0,35m.
- ✓ Acrílicos de 6mm de espesor para el sedimentador primario y para el tanque (reactor biológico, sedimentador secundario, canal de recolección).
- ✓ Silicona para acrílico.
- ✓ 7 válvulas reguladoras de caudal.
- ✓ 4 bombas de pecera.

- ✓ Difusores porosos

#### **4.5.4. Determinación de parámetros biocinéticos**

Para determinar los parámetros biocinéticos del agua residual del camal de Carhuaz se seguirán las etapas de diseño:

- ✓ Caracterización del agua residual del camal
- ✓ Aplicación del lodo de una planta de lodos activados que se realizó para determinar el tiempo de retención hidráulica.
- ✓ Determinación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en el afluente y efluente.
- ✓ Determinación de los parámetros biocinéticos.
- ✓ Diseño de la planta de lodos activados con sus respectivos detalles.

##### **a) Caracterización del agua residual del camal**

Los resultados de la caracterización del agua residual del camal se realizaron en las aguas arriba y aguas abajo del río Santa, y en la descarga final a las 7am que es una hora después del inicio del sacrificio en el camal de Carhuaz y a las 11am, que es la hora de mayor sacrificio, por lo tanto, el agua contiene mayor carga orgánica; y es esta que utilizaremos como base de diseño que se detallan en el Cuadro 4.4.

##### **b) Aplicación del lodo de una planta de lodos activados que se realizó para determinar el tiempo de retención hidráulica**

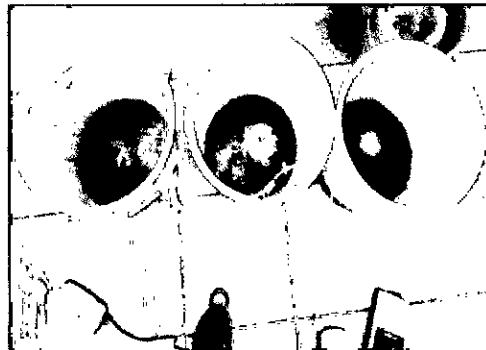
Según la bibliografía estudiada, la relación de lodo y agua residual es de 1 a 3 respectivamente, luego se procedió a la inyección de aire por medio de difusores porosos por un TRH de 2, 4, 6, 7 y 8 horas.

El lodo crudo nos fue proporcionado por el encargado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del Condominio "El Pinar", perteneciente a la compañía minera Antamina ubicado en la ciudad de Huaraz.

##### **c) Determinación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en el afluente y efluente.**

Para determinar el tiempo de retención hidráulica se utilizaron 5 recipientes los cuales fueron aireados 2, 4, 6, 7 y 8 horas con bombas de 5, 9 y 15 Watts, en la cual también se determinó el caudal de diseño.

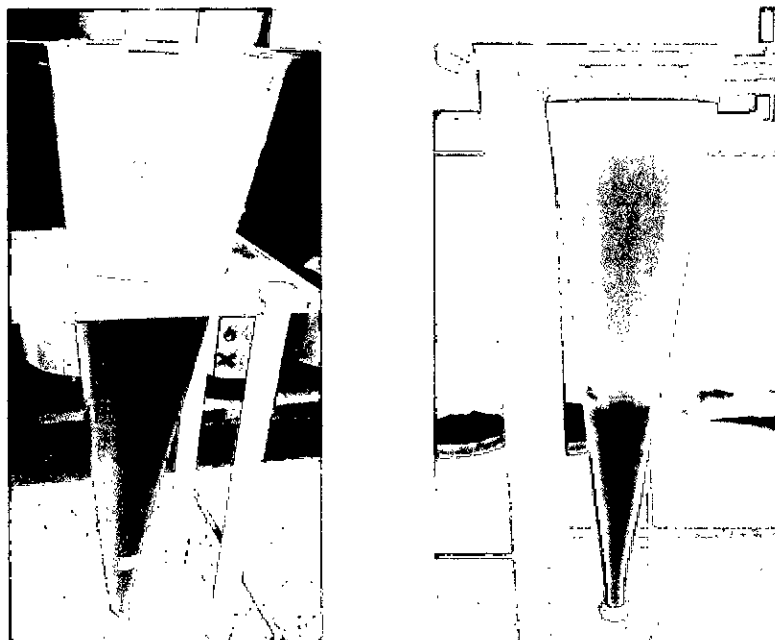
**Figura 4. 16**  
**Aireación para TRH**



**Fuente propia**

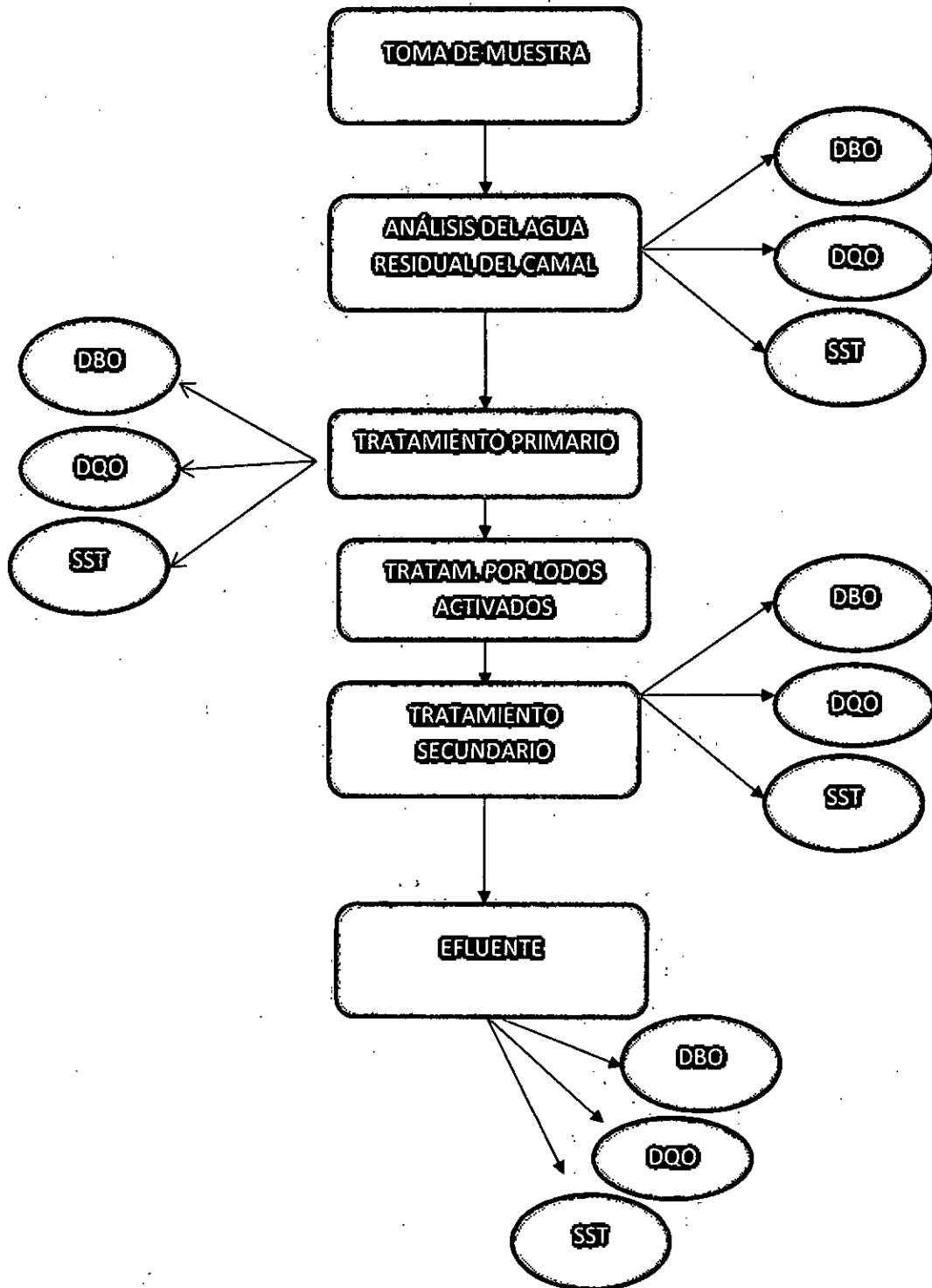
Para obtener mejores resultados de los análisis fisicoquímicos se realiza la sedimentación en conos Imhoff para el posterior muestreo.

**Figura 4. 17**  
**Sedimentación en conos Imhoff**



**Fuente propia**

a. Proceso para el tratamiento de aguas residuales.

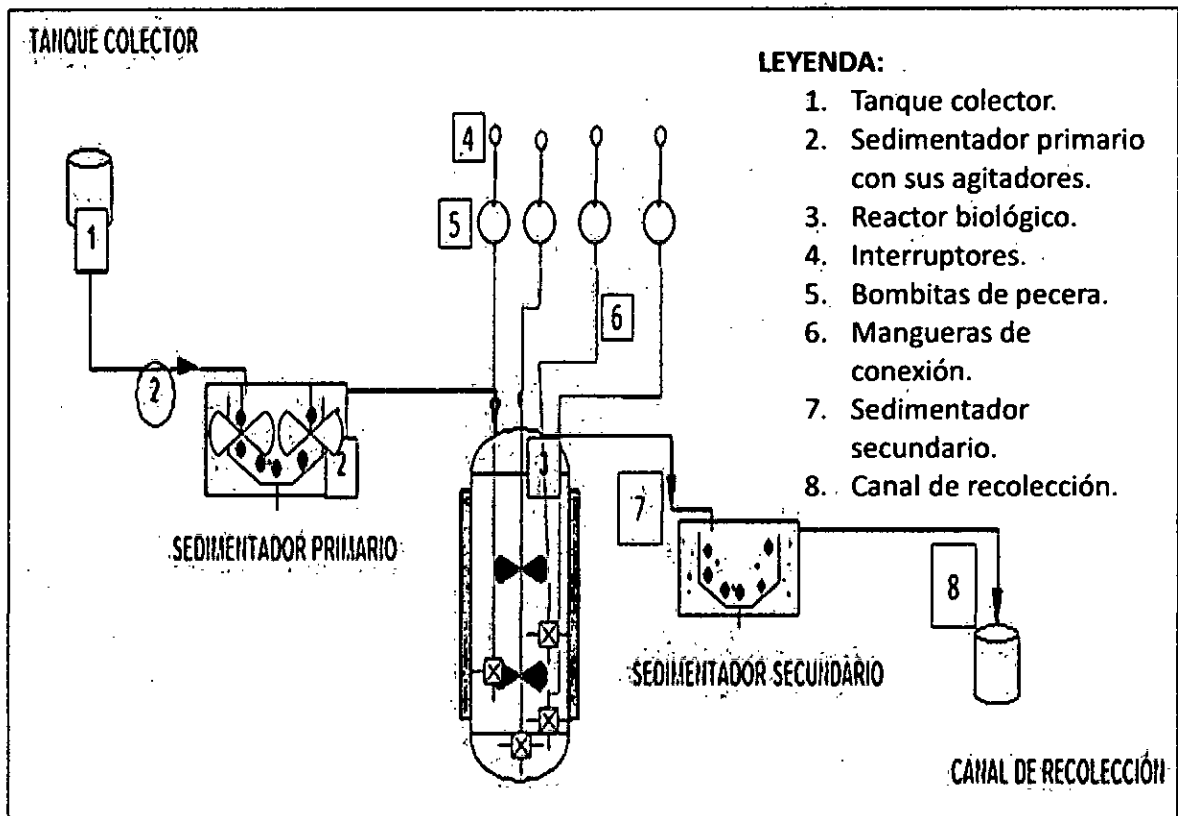


Fuente propia

b. Diagrama de flujos de proceso para el tratamiento del agua residual del canal de Carhuaz.

Figura 4. 18

Diagrama de flujo de proceso para el tratamiento del agua residual del canal de Carhuaz.



Fuente Propia

**i. Pre Tratamiento y Tratamiento Primario**

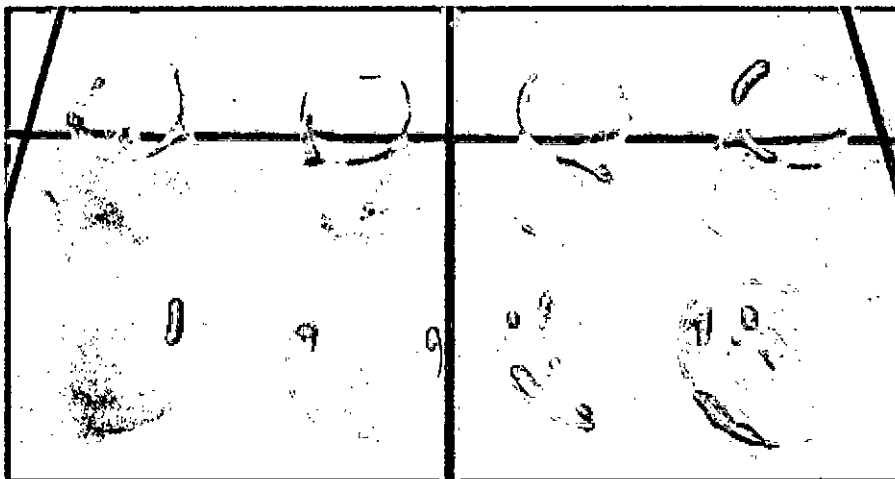
El agua residual muestreada se adiciona al tanque colector realizando agitación continua con paletas para homogenizar en toda su superficie dicha agua.

Después de esta etapa se realiza un pre tratamiento adicionándole floculantes y coagulantes en un tiempo determinado y a una revolución previamente analizada en laboratorio para poder sedimentar los flóculos de sangre que están presentes en la muestra.

En el laboratorio realizamos pruebas para determinar las revoluciones por minuto, concentración del floculante y coagulante y el tiempo de agitación.

**Figura 4. 19**

**Preparación de materiales e insumos**

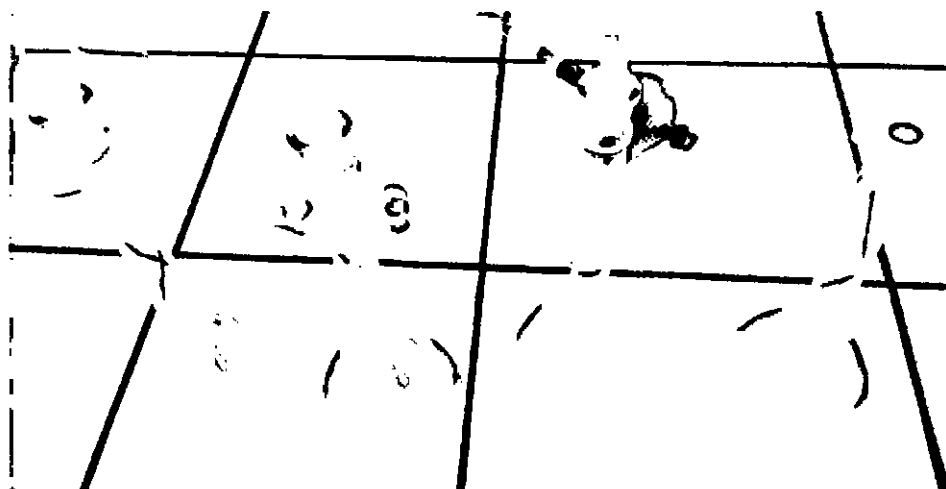


**Fuente propia**



**Figura 4. 20**

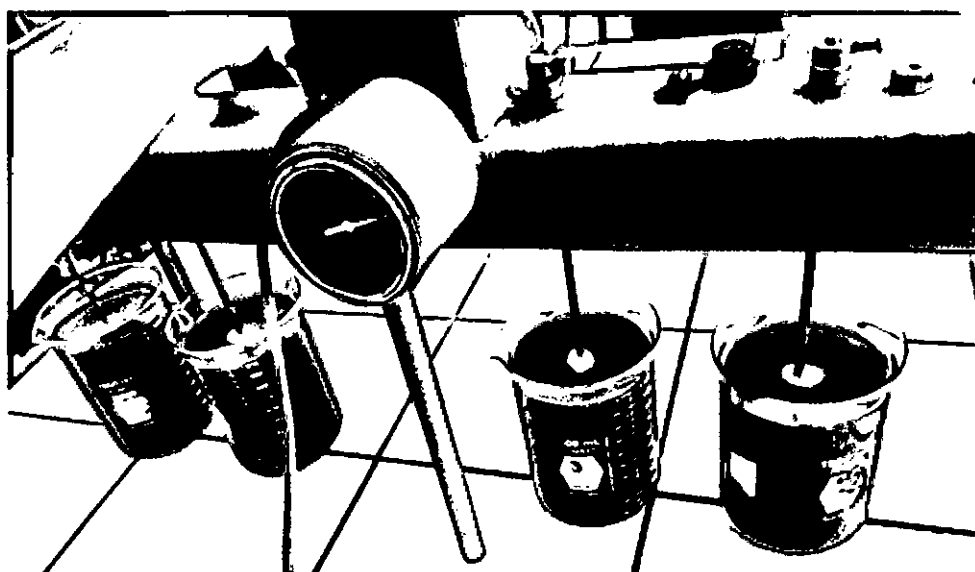
**Preparación del floculante con diferentes concentraciones**



**Fuente propia**

**Figura 4. 21**

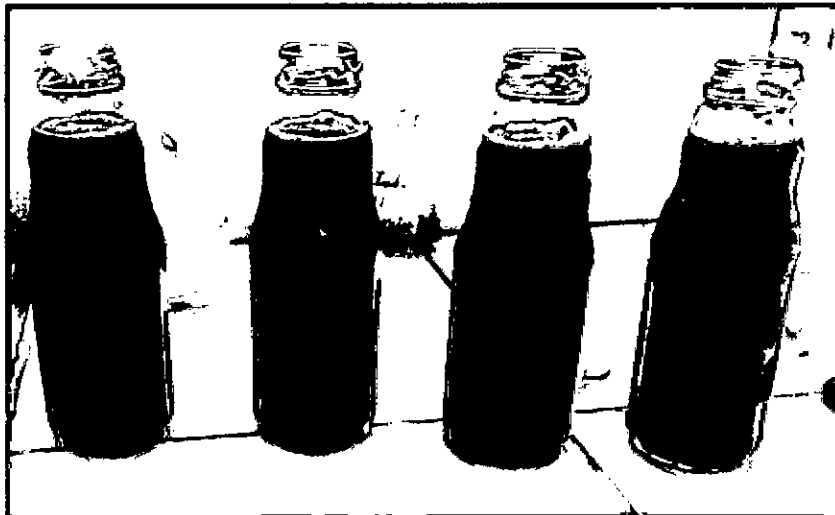
**Inicio del test de jarras**



**Fuente propia**

**Figura 4. 22**

**Muestras al finalizar el test de jarras listas para el siguiente proceso**



**Fuente propia**

Este pre tratamiento se realizó debido a que la concentración de DBO supera el rango de 1000 – 1500 ppm, que es el parámetro adecuado para el tratamiento de aguas residuales mediante la tecnología de lodos activados.

En el proceso de sedimentación primaria ,el tanque es de 50 litros, las dimensiones son 0,25 m de ancho, 0,5 m de largo y 0,4 m de altura, con orificios de 1 pulgada para el ingreso del agua del tanque colector al sedimentador primario, para lo cual se utilizó mangueras de 1 pulgada con una válvula para controlar el caudal de ingreso y un orificio de salida de 6 mm para descargar el agua floculada al tanque reactor, la retención hidráulica en este punto fue de 10 horas, tiempo en la cual la concentración de los parámetros disminuyeron.

## ii. Tratamiento Biológico y/o tratamiento secundario

Es el proceso principal, en la cual se utiliza lodos activos de un camal, en nuestro caso del camal de la urbanización EL PINAR, en Huaraz – Ancash, la cual se caracterizó y cumplen con las condiciones para poder realizar el tratamiento.

Según algunas tesis y libros nos indican que la relación entre el afluente y el lodo activo es de 1 a 3, lo cual se procedió a realizar, adicionando 1 litro de lodo activo y 3 litros de agua, para poder empezar con el tratamiento, mediante difusores de aire con bombas de diferente potencia, que logran activar los microorganismos y empezar con el tratamiento.

En el inicio de la parte experimental se determinó el tiempo de retención hidráulica y el caudal de trabajo, mediante el mismo proceso, pero en diferente recipiente, horas y potencia de las bombas de aire, para determinar así dicha retención hidráulica e iniciar el diseño del equipo de tratamiento de aguas residuales.

Se debe tener en cuenta que se forman espumas, en esta etapa en el reactor biológico, lo cual se debe retirar en forma constante para así evitar que el tratamiento sufra algún cambio.

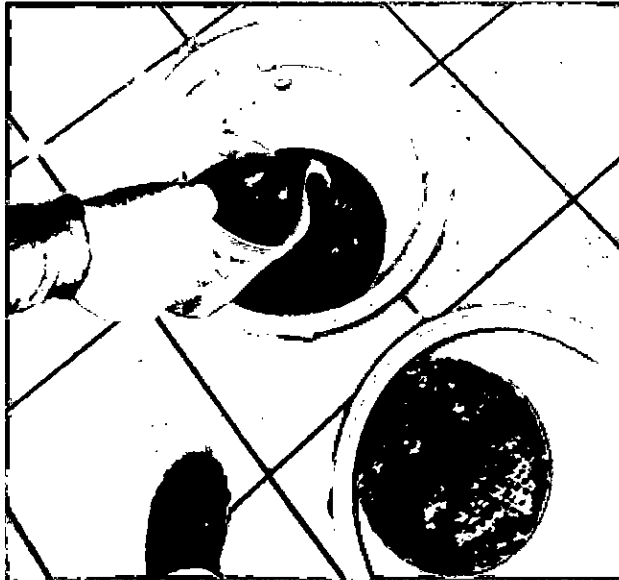
**Figura 4. 23**  
**Adición de 3 litros de afluente**



**Fuente propia**

**Figura 4. 24**

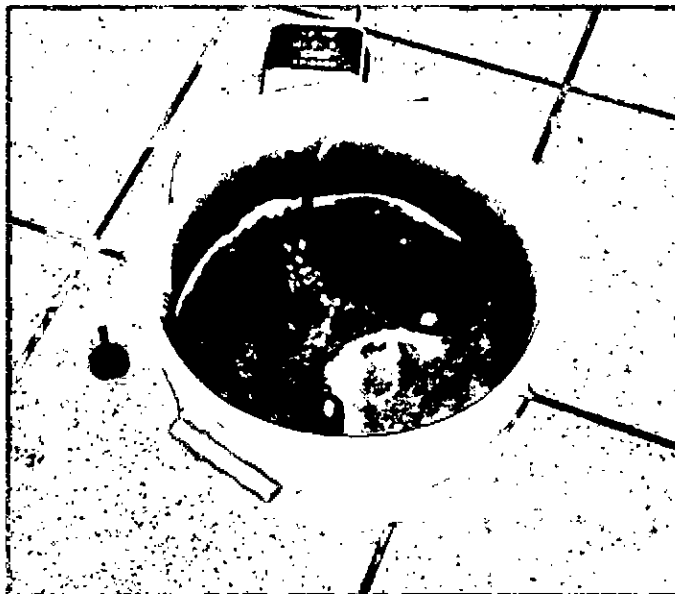
**Adición del lodo activo a la muestra de agua residual del camal**



**Fuente propia**

**Figura 4. 25**

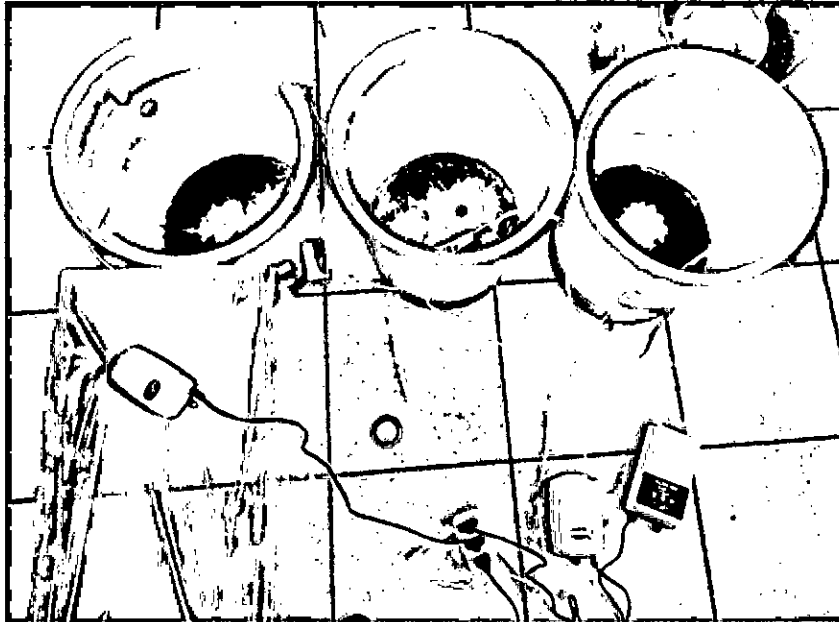
**Preparación de la bomba y los difusores para el tratamiento**



**Fuente propia**

**Figura 4. 26**

**Tratamiento del agua residual y obtención del TRH**



**Fuente propia**

**Figura 4. 27**

**Retirando las espumas formadas en el tratamiento biológico**

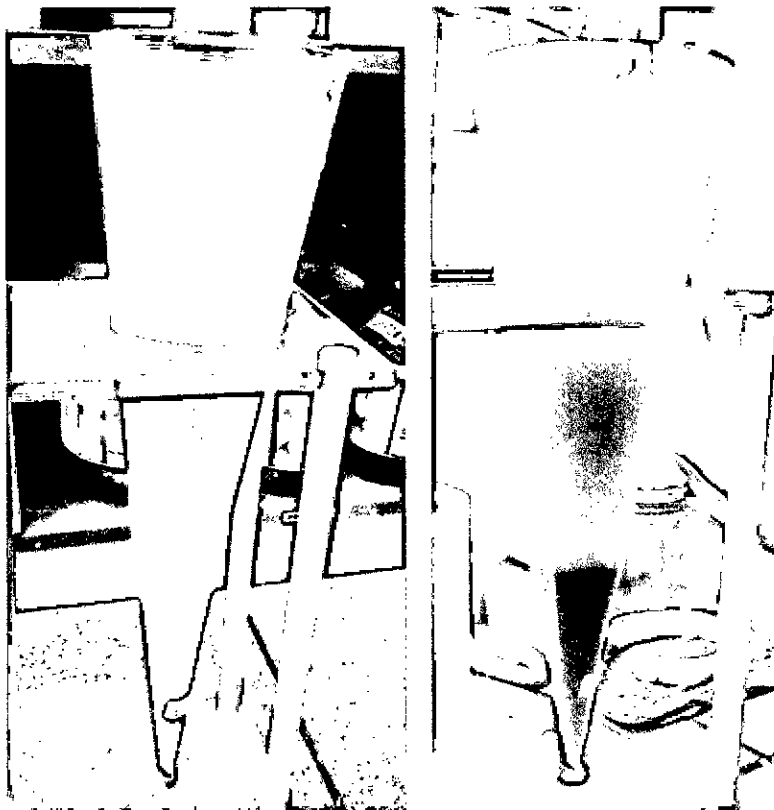


**Fuente propia**

### iii. Sedimentación secundaria

Es en esta etapa donde se deja sedimentar el efluente que ha sido tratado en el reactor biológico, para poder eliminar ciertas sustancias solidas aun presentes en el afluente, para lo cual es recomendable utilizar reactores y/o sedimentadores con forma cónica, para la parte experimentales e utilizo el cono INHOFF, para poder simular la sedimentación secundario en un equipo de tratamiento de aguas residuales.

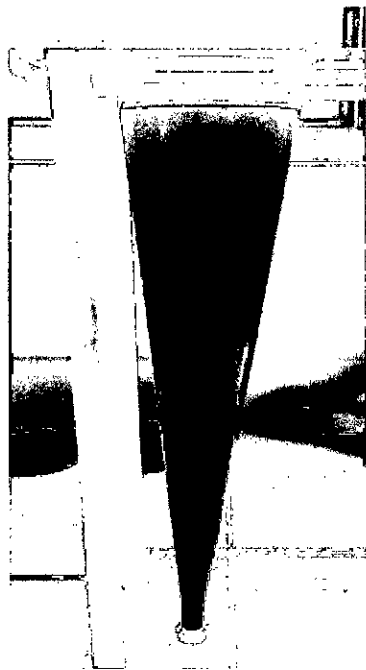
**Figura 4. 28**  
**Sedimentación secundaria**



**Fuente propia**

**Figura 4. 29**

**Sedimentación secundaria luego de culminada le tiempo determinado**



**Fuente propia**

Al final de esta etapa se realiza un análisis fisicoquímico en laboratorio de los parámetros como DBO, DQO, SST para determinar si disminuyó a la concentración adecuada para continuar el proceso, caso contrario se continúa tratando hasta llegar al rango adecuado.

Luego de obtenido los parámetros, se diseña el equipo y las dimensiones de cada reactor en cada etapa y su proceso es como sigue.

#### **iv. Reactor Biológico**

Es la etapa principal de todo el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante esta tecnología, debido a que es en este punto donde los microorganismos presentes en los lodos degradarán la materia orgánica presente en el agua residual, disminuyendo así la concentración de DBO.

Para diseñar este equipo se tienen en cuenta los parámetros analizados de la muestra inicial, además de parámetros como el caudal de agua residual que genera el camal, referencias bibliográficas de diseño como formulaciones, datos estándares para cada tipo de tratamiento.

Es importante en esta etapa tener en cuenta también la caracterización del lodo que utilizaremos en el tratamiento y además de la relación entre la cantidad de lodo y volumen de agua a adicionar en el reactor para hacer el tratamiento más adecuado.

En esta etapa la concentración de DBO debería disminuir entre un 90,0% a 95,0%.

El objetivo en esta etapa es disminuir la mayor cantidad posible la concentración de DBO, DQO, SST, fósforo, nitrógeno total para poder cumplir con la norma ambiental DS. 001-2009-MINAM, decreto supremo que rige los efluentes de este tipo.

Las dimensiones del reactor son detalladas a continuación:

El reactor biológico tiene las dimensiones, 0,32 m de largo por 0,25 m de ancho (área 0,08 m<sup>2</sup>) con una altura de 0,60 m. EL ingreso del agua sedimentada era a través de una tubería de PVC de ½" diámetro de 0,26 m de largo y con 9 orificios para una mejor distribución del agua residual, esta tubería estaba colocada a lo ancho del reactor y a 0,50 m del fondo; además se ha colocado una cinta métrica que cumple la finalidad de indicar el volumen de agua residual y de lodo que existe en el reactor.

Para el funcionamiento del reactor se tuvo cuatro etapas, cada una de ellas se diferencia por el tipo de difusor y el número de bombas, ello se planteó en vista que se quiso mejorar las condiciones de oxígeno en el reactor; a continuación, se describe cada una de las etapas:



**Etapa I:** Para esta etapa se utilizó dos bombas inyectoras de aire de 15,0 Watts, y alimentaba a 12 difusores esféricos y se colocaron a 0,15 m del fondo del reactor separados cada 0,02 m.

**Etapa II:** Se optó por aumentar el número de bombas a cuatro, los cuales tenían una potencia de 2,0 Watt y 5 Watts para completar con la potencia requerida según los cálculos de diseño

Según la teoría de Ramalo, el tiempo de retención hidráulica se encuentra entre 4 – 12 horas con un promedio de 8 horas, lo cual se utiliza como parámetro de diseño, pero al realizar la parte experimental se determinó que el tiempo de retención hidráulica del agua residual del camal de Carhuaz es de 6 horas.

Durante el proceso de aireación se produjo espumas en gran cantidad que dificultaba que en el sedimentador secundario se pueda realizar una sedimentación adecuada, para lo cual se colocó una pantalla de jebe entre el reactor biológico y el sedimentador secundario para evitar que se mezcle con el agua tratada; en caso que la pantalla no fuera suficiente, las espumas serán retiradas de forma manual.

Para la toma de muestras se perforó un orificio en la parte central del reactor y a 0,34 m de fondo, el orificio además contaba con una manguera de plástico de 3/8" con su respectiva llave reguladora

#### **v. Tratamiento Secundario**

El sedimentador secundario tiene las siguientes dimensiones:

- 0,15 m de largo.
- 0,25 m de ancho.
- 0,50 m de altura.

Se dejó una abertura de 1,0 cm en el fondo para la recirculación de lodos generados en esta etapa, por el propio peso del lodo este retorna al reactor biológico evitando el paso de ellos hacia la canaleta de recolección.

Además, el período de retención hidráulico en el sedimentador fue de 90 minutos, luego de ésta, el agua tratada pasaba al canal de recolección.

En el fondo se perforó un orificio para poder realizar la toma de muestra del lodo recirculado en caso sea necesario, el punto de muestreo contaba con una manguera flexible de plástico y una llave reguladora.

#### **vi. Canal de Recolección**

Las dimensiones del canal de recolección son: 0,05 m de largo por 0,25 m de ancho (área 0,0125 m<sup>2</sup>) con una altura de 0,05 m.

El canal de recolección también se encuentra adherido y a lo ancho del sedimentador secundario con la finalidad de recolectar el agua residual sedimentada, y mediante una tubería flexible de 1/8" para poder hacer la toma de la muestra.

En esta última etapa es donde se espera que el agua residual cumpla con los parámetros solicitados por el MINAM con su DECRETO SUPREMO N° 001-2009 MINAM, para lo cual se debe seguir todo el proceso tal cual se estipula en todo este capítulo.

#### **4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.**

Para el procesamiento de datos estadísticos se utilizó el EXCEL (Análisis de datos) que es una herramienta importante para el análisis de dichos datos, realizar gráficos y ecuaciones que nos permitieron determinar si los resultados obtenidos se rechazan o se aceptan.

Los parámetros que se controlaron fueron el tiempo (horas), oxígeno disuelto (OD), pH, y temperatura (T°C), cuyos resultados se analizaron en la plataforma EXCEL.

- Para realizar el método tagushi se necesitan como mínimo dos factores y diferentes niveles; como en nuestra investigación se controló el tiempo (horas) y oxígeno disuelto (OD), se tendría dos factores pero un solo nivel ya que no pudimos controlar el flujo de aire para mantener constante diferentes concentraciones de OD. De la misma forma si mantenemos el OD constante nuestros tiempos variarían para mantener constas el OD.

**Cuadro 4. 2**

**Parámetros controlados (tiempo y OD)**

Tiempo (Hrs)	OD(ppm)	PH	Temperatura (°c)	DBO
2	1,98	7,29	17,2	1040,4
4	1,79	7,42	17,4	1003,2
6	1,59	7,23	17,5	951,6
7	1,52	7,25	17,8	952
8	1,87	7,32	16,9	952

**Fuente Propia**

### Cuadro 4. 3

#### Análisis ANOVA en Excel de tiempo y OD para dos factores y un nivel

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	2	3.98	1.99	0.0002		
Fila 2	2	5.79	2.895	2.44205		
Fila 3	2	7.59	3.795	9.72405		
Fila 4	2	8.52	4.26	15.0152		
Fila 5	2	9.87	4.935	18.78845		
Columna 1	5	27	5.4	5.8		
Columna 2	5	8.75	1.75	0.03685		
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	10.6837	4	2.670925	0.8436476	0.56345203	6.388232909
Columnas	33.30625	1	33.30625	10.520227	0.0315695	7.708647422
Error	12.6637	4	3.165925			
Total	56.65365	9				

**Fuente Propia**

## V. RESULTADOS

En la presente tesis se trató el agua residual del camal de Carhuaz mediante la tecnología de lodos activados, y se tuvo en cuenta las propiedades que tienen los lodos, estos lodos debén sedimentar adecuadamente con el fin de conseguir una buena clarificación del agua residual tratada, por tal motivo es necesario evaluar las características de sedimentación.

### 5.1. Resultados del análisis del agua superficial del río Santa y del agua residual del camal de Carhuaz.

**Cuadro 5. 1**  
**Caracterización del agua superficial del río santa aguas arriba**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	FECHA DE MUESTREO	FECHA ENTREGA DE RESULTADOS
pH	.....	7,43	10/10/16	17/10/16
Conductividad	µS/cm	232	10/10/16	17/10/16
Turbiedad	NTU	11,4	10/10/16	17/10/16
DQO	mg/L	<25	10/10/16	17/10/16
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1,93	10/10/16	17/10/16
SSV	mg/L	70	10/10/16	17/10/16
SST	mg/L	37	10/10/16	17/10/16
SDT	mg/L	162	10/10/16	17/10/16
ST=SDT-SST	mg/L	125	10/10/16	17/10/16

Fuente propia

**Cuadro 5. 2**  
**Caracterización del agua residual a las 7:00 am de un día de sacrificio en el camal**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	FECHA DE MUESTREO	FECHA ENTREGA DE RESULTADOS
pH	.....	7,23	10/10/16	17/10/16
DQO	mg/L	2151	10/10/16	17/10/16
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1274	10/10/16	17/10/16
SSV	mg/L	83	10/10/16	17/10/16
SST	mg/L	1030	10/10/16	17/10/16
SDT	mg/L	3000	10/10/16	17/10/16
ST=SDT-SST	mg/L	1970	10/10/16	17/10/16
Nitrógeno total	mg/L	12	10/10/16	17/10/16
Fósforo total	mg/L	1,38	10/10/16	17/10/16

Fuente propia

**Cuadro 5. 3**  
**Caracterización del agua residual a las 11:00 am de un día de sacrificio en el camal**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	FECHA DE MUESTREO	FECHA ENTREGA DE RESULTADOS
pH	.....	7,68	10/10/16	17/10/16
DQO	mg/L	2525	10/10/16	17/10/16
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1840	10/10/16	17/10/16
SSV	mg/L	95	10/10/16	17/10/16
SST	mg/L	1146	10/10/16	17/10/16
SDT	mg/L	3478	10/10/16	17/10/16
ST=SDT-SST	mg/L	2332	10/10/16	17/10/16
Nitrógeno total	mg/L	13	10/10/16	17/10/16
Fósforo total	mg/L	2,66	10/10/16	17/10/16

Fuente propia

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Calidad Ambiental UNASAM – Huaraz, el día 10 de octubre de 2016 y se entregó el informe el 17 de octubre de 2016.

## 5.2. Caracterización del lodo activado como inóculo

En el Cuadro 5.4 se detalla las características fisicoquímicas del lodo aplicado como inóculo en el reactor para la determinación de parámetros biocinéticos para la planta de lodos activados.

**Cuadro 5. 4**  
**Caracterización del lodo de la PTAR del condominio “El Pinar” – Huaraz.**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS
pH	.....	6,7
DQO	mg/Kg	43530
DBO <sub>5</sub>	mg/Kg	33400
Sólidos volátiles	mg/Kg	31000
Sólidos totales	mg/Kg	55573
Humedad	%	95,3
Nitrógeno total	g/100g	1,84
Nitrógeno amoniacal	g/Kg	275,8
Nitrógeno orgánico	g/100g	0,46
Fósforo total	Mg/Kg	145,47

**Fuente propia**

### 5.3. Caracterización del afluente y del efluente en el reactor

Los resultados obtenidos luego de la experimentación se detallan en el cuadro 5.5.

**Cuadro 5. 5**  
**Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

PARÁMETRO	UNIDAD	TRH	RESULTADOS		
			Afluente	Reactor	Efluente
DQO	mg/L	2 hrs	2525	-	1040,4
DBO	mg/L		1840	-	578
SSV	mg/L		-	1175	-
DQO	mg/L	4 hrs	2525	-	1003,2
DBO	mg/L		1840	-	528
SSV	mg/L		-	670	-
DQO	mg/L	6 hrs	2525	-	951,6
DBO	mg/L		1840	-	520
SSV	mg/L		-	452	-
DQO	mg/L	7 hrs	2525	-	952
DBO	mg/L		1840	-	522
SSV	mg/L		-	390	-
DQO	mg/L	8 hrs	2525	-	952
DBO	mg/L		1840	-	530
SSV	mg/L		-	330	-

Fuente propia



#### 5.4. Resultados del Test de Jarras como pre tratamiento

Cuadro de resultados del test de jarras.

**Cuadro 5. 6**

**Cuadro de resultados del test de jarras.**

MUESTRA	O.D	Conc.g/L	RPM	Tiempo	DBO	DQO
Inicial	2,30	-	-	-	1840	2525
1	3,54	0,5	80	1 hr	1838	2522
2	3,26	1,0	80	1 hr	1836	2521
3	3,55	2,0	80	1 hr	1839	2525
4	3,44	4,0	80	1 hr	1837	2517

Fuente propia

#### 5.5. Determinación de parámetros biocinéticos

**Ecuación para cinética de Primer Orden**

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} * th} = k * S_e$$

Dónde:

q: velocidad específica de consumo de sustrato (d<sup>-1</sup>)

k: constante específica de remoción de sustrato (d<sup>-1</sup> L/mg)

S<sub>e</sub>: concentración de DBO en el efluente (mg/L)

X<sub>va</sub>: concentración de SSV en el efluente (mg/L)

th: tiempo de residencia hidráulica

**Cuadro 5. 7**

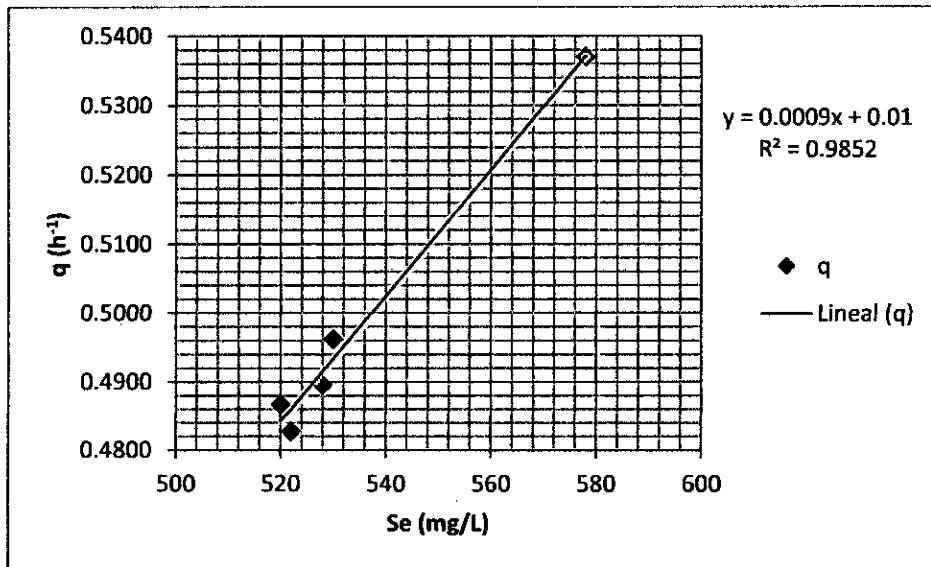
**Datos para cinética de primer orden**

So (mg/L)	Se (mg/L)	Xva (mg/L)	Th (h)	q (h <sup>-1</sup> )
1840	578	1175	2	0,5370
1840	528	670	4	0,4896
1840	520	452	6	0,4867
1840	522	390	7	0,4828
1840	530	330	8	0,4962

Fuente propia

**Gráfica 5. 1**

**Modelo cinético de primer orden**



Fuente propia

**Ecuación para modelo cinético de orden variable o Monod:**

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = q_{m\acute{a}x} \times \frac{S_e}{K_s + S_e}$$

Dónde:

$q_{m\acute{a}x}$  = máximo de remoción de sustrato ( $d^{-1}$ )

$q$  = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

$K_s$  = constante de afinidad ( $mg/l$ )

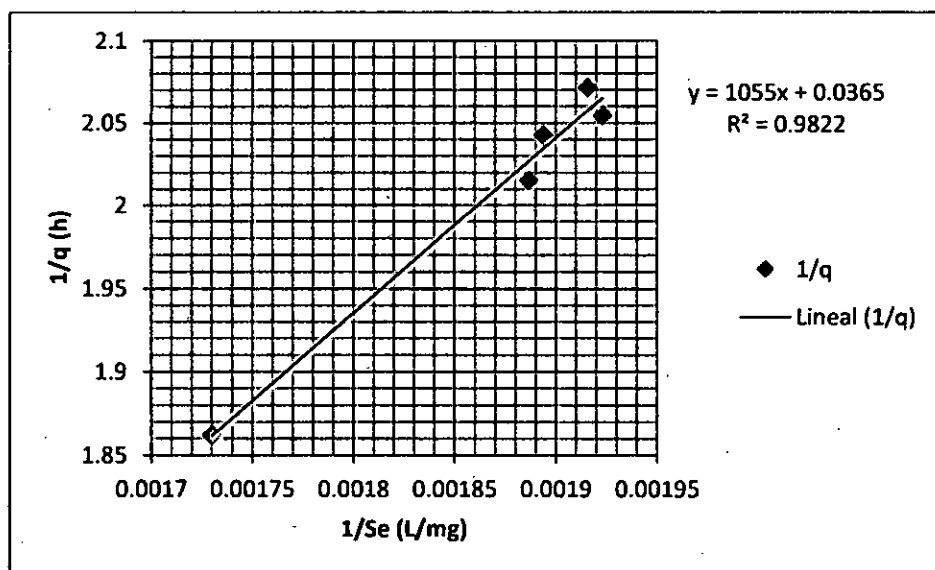
$Se$  = concentración de DBO en el reactor ( $mg/l$ )

**Cuadro 5. 8**  
**Datos para el Modelo de Monod**

So (mg/L)	Se (mg/L)	Xva (mg/L)	Th (h)	q (h <sup>-1</sup> )	1/Se (L/mg)	1/q (h)
1840	578	1175	2	0,5370	0,0017	1,8621
1840	528	670	4	0,4896	0,0019	2,0427
1840	520	452	6	0,4867	0,0019	2,0545
1840	522	390	7	0,4828	0,0019	2,0713
1840	530	330	8	0,4962	0,0019	2,0153

Fuente propia

**Gráfica 5. 2**  
**Modelo cinético de Monod**



Fuente propia

**Ecuación del Modelo Cinético de Grau:**

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = k_1 \cdot \frac{S_e}{S_0}$$

Dónde:

$q$  = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

$k_1$  = constante específica de consumo ( $mg/l$ )

$S_e$  = concentración de DBO en el reactor ( $mg/l$ )

$S_0$  = concentración de DBO en el afluente ( $mg/l$ )

**Cuadro 5. 9**

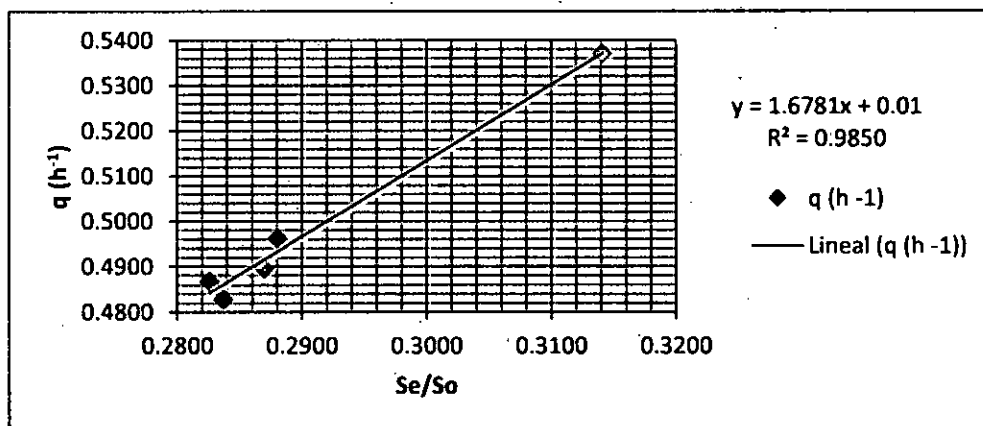
**Datos para el Modelo Cinético de Grau**

So (mg/L)	Se (mg/L)	Xva (mg/L)	Th (h)	q (h <sup>-1</sup> )	Se/So
1840	578	590	2	1,0695	0,3141
1840	528	555	4	0,5910	0,2870
1840	520	532	6	0,4135	0,2826
1840	522	547	7	0,3442	0,2837
1840	530	450	8	0,3639	0,2880

Fuente propia

**Gráfica 5. 3**

**Modelo Cinético de Grau**



Fuente propia

Observamos que la ecuación que más se ajusta a los datos experimentales es el modelo de primer orden, que tiene un índice de correlación mayor.

De la gráfica del Modelo Cinético de Primer Orden se obtiene "K".

$$y = 0,0009x + 0,01$$

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} * th} = k * S_e$$

$$K = 9 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1} \text{ mg/L}$$

De la gráfica del Modelo Cinético de Monod se obtiene "K<sub>s</sub>".

$$y = 1055x + 0,0365$$

$$\frac{1}{q} = \frac{k_s}{q_{m\acute{a}x}} \times \frac{1}{S_e} + \frac{1}{q_{m\acute{a}x}}$$

$$* \cdot q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0.0365}$$

$$q_{m\acute{a}x} = 27 \text{ h}^{-1}$$

De la gráfica del Model de Grau se obtiene "K<sub>1</sub>".

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{va} \times t_h} = k_1 \cdot \frac{S_e}{S_0}$$

$$y = 1,6781x + 0,01$$

$$K_1 = 1,6781 \text{ mg/L}$$

### Determinación de los coeficientes Y y $k_d$ :

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} = Yq - k_d$$

$$\mu = \frac{\frac{\Delta x_v}{V}}{X_{va}} = \frac{1}{\theta_c}$$

Dónde:

$\mu$ = velocidad específica de crecimiento ( $d^{-1}$ )

$q$ = velocidad específica de consumo de sustrato ( $d^{-1}$ )

$\Delta X_v$ = producción neta de lodos (Kg/d)

$V$ = volumen de la cámara

$\theta_c$ = Edad de lodos

$Y$ = rendimiento producido de lodo producido/ kg sustrato consumido

$k_d$ = constante de decaimiento endógeno SSV oxidada/  $d^{-1}$

Con la siguiente ecuación, obtendremos  $\Delta X_v$ , que son los kilogramos (Kg) de lodos producidos en un determinado día de tratamiento.

$$\Delta X_v = \frac{KgSSV_{t=24h} - KgSSV_{t=0h}}{24h} = \frac{Kg \text{ de SSV producidos}}{\text{día}}$$

**Cuadro 5. 10**

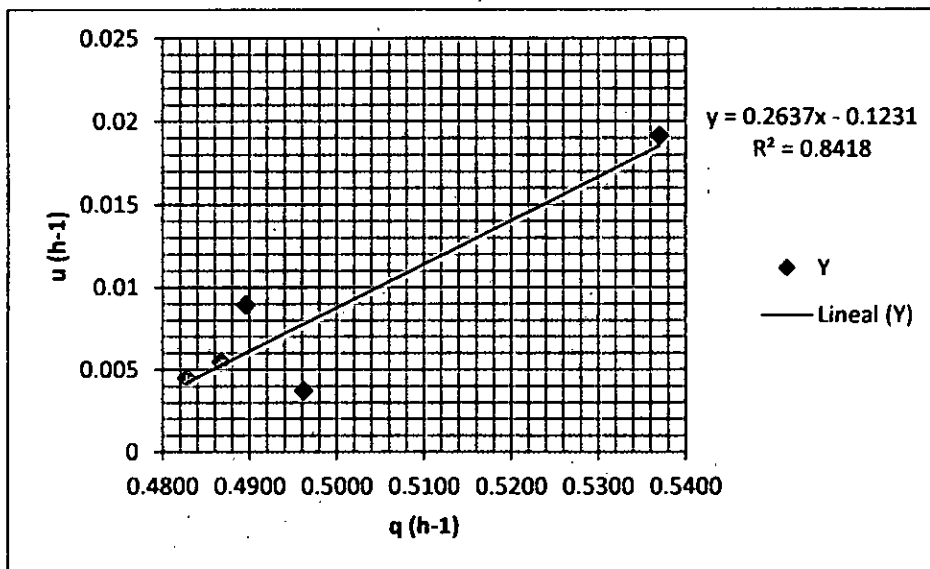
**Datos para el cálculo de Y y Kd**

So	Se	Xva	Th	q	$\Delta X_D$	$\Delta X_D$	$\Delta X_D/V$	$\mu$
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(h)	(h <sup>-1</sup> )	(mg/h)	(mg/día)	(mg/Lh)	(h <sup>-1</sup> )
1840	578	1175	2	0,5370	32400	1350	22,5000	0,0191
1840	528	670	4	0,4896	8625	359	5,9896	0,0089
1840	520	452	6	0,4867	3570	149	2,4792	0,0055
1840	522	390	7	0,4828	2529	105	1,7560	0,0045
1840	530	330	8	0,4962	1763	73	1,2240	0,0037

Fuente propia

**Gráfica 5. 4**

**Determinación de Y y Kd**



Fuente propia

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} = Yq - k_d$$

$$y = 0,2637x - 0,1231$$

**Kd = 0,1231 KgSSV muertos/Kg SSV reactor**

**Y = 0,2637 Kg SSV producidos / Kg DBO removido**

### **Determinación de los coeficientes “a” y “b”**

$$R_{O_2} = aq + b$$

$$R_{O_2} = \frac{VUO}{X_{va}}$$

Dónde:

a= kg de oxígeno en la oxidación de sustrato/kg de DBO removida

b= kg de oxígeno para respiración endógena/día kg de SSV en el reactor.

RO<sub>2</sub> =velocidad específica de consumo de O<sub>2</sub> (kg de O<sub>2</sub>/ (h kg SSV))

VUO= velocidad de utilización de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/ (L.min))

### **Determinación de la VUO (velocidad de utilización de oxígeno)**

En las 5 experiencias realizadas para la obtención de los parámetros biocinéticos, también se estuvo midiendo el oxígeno disuelto para determinado tiempo.

Según la bibliografía revisada en un artículo informativo de mayo de 2013 de la empresa Serquimsa, por Andrés Moreda Arguedas nos indica que el oxígeno disuelto debe estar en el rango de 1,5 a 4 mg/L O<sub>2</sub> como medida de control en un biorreactor, y el valor más utilizado es 2 mg/L O<sub>2</sub>.



**Cuadro 5. 11**

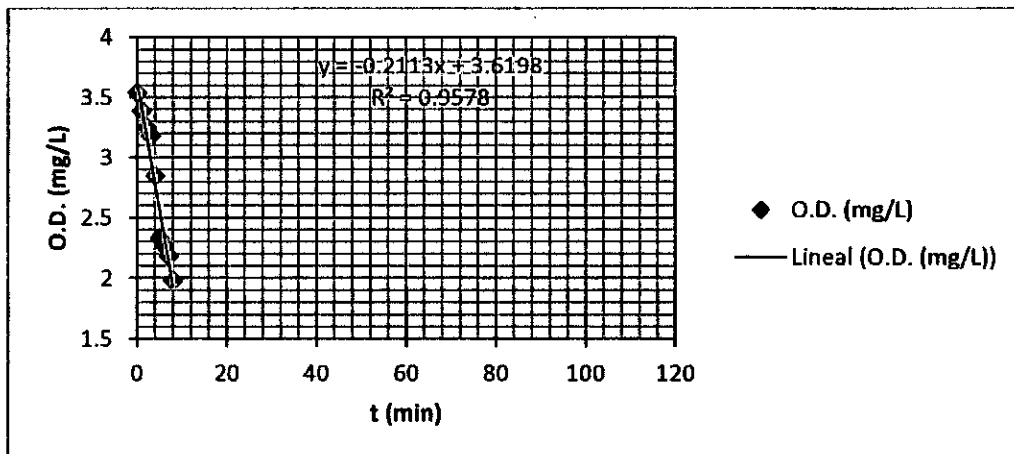
**O.D. vs tiempo (TRH = 2 hrs)**

t (min)	O.D. (mg/L)
0	3,54
15	3,39
30	3,25
45	3,18
60	2,85
75	2,33
90	2,27
105	2,18
120	1,98

**Fuente propia**

**Gráfica 5. 5**

**O.D. vs tiempo (TRH = 2 hrs)**



**Fuente propia**

**Cuadro 5. 12**

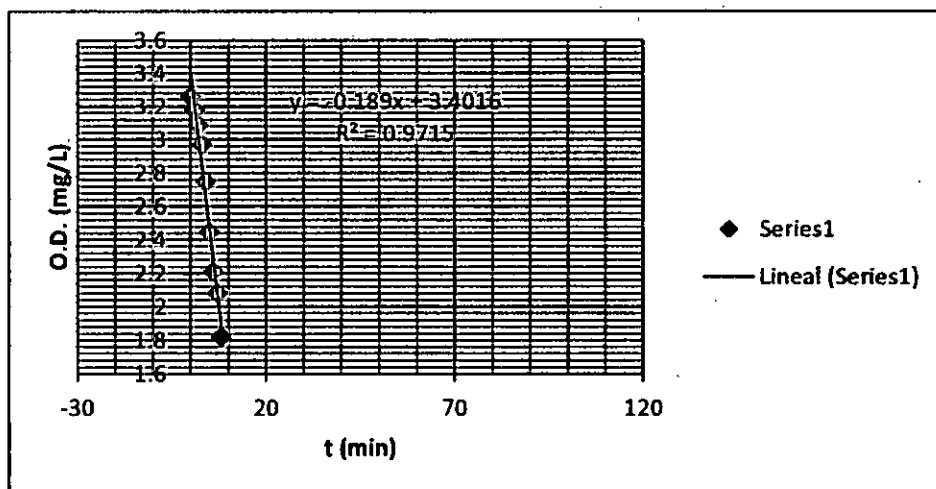
**O.D. vs tiempo (TRH = 4 hrs)**

t (min)	O.D. (mg/L)
0	3,26
15	3,18
30	3,09
45	2,97
60	2,75
75	2,45
90	2,21
105	2,08
120	1,82
150	1,72
180	1,53
210	2,02
240	1,79

**Fuente propia**

**Gráfica 5. 6**

**O.D. vs tiempo (TRH = 4 hrs)**



**Fuente propia**

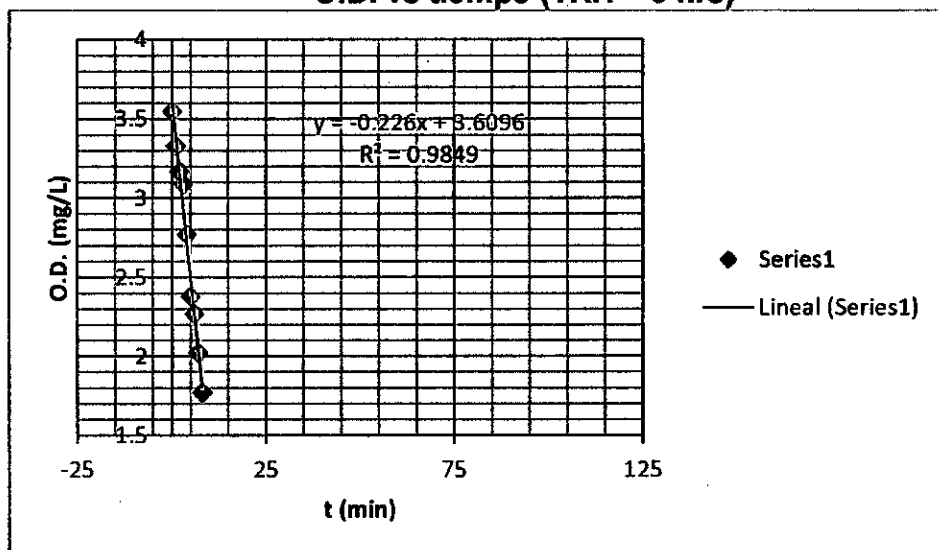
**Cuadro 5. 13**

**O.D. vs tiempo (TRH = 6 hrs)**

<b>t (min)</b>	<b>O.D. (mg/L)</b>
0	3,55
15	3,33
30	3,17
45	3,09
60	2,77
75	2,38
90	2,27
105	2,02
120	1,77
180	1,59
220	2,15
260	1,97
300	1,83
340	1,73
360	1,59

**Fuente propia**

**Gráfica 5. 7**  
**O.D. vs tiempo (TRH = 6 hrs)**



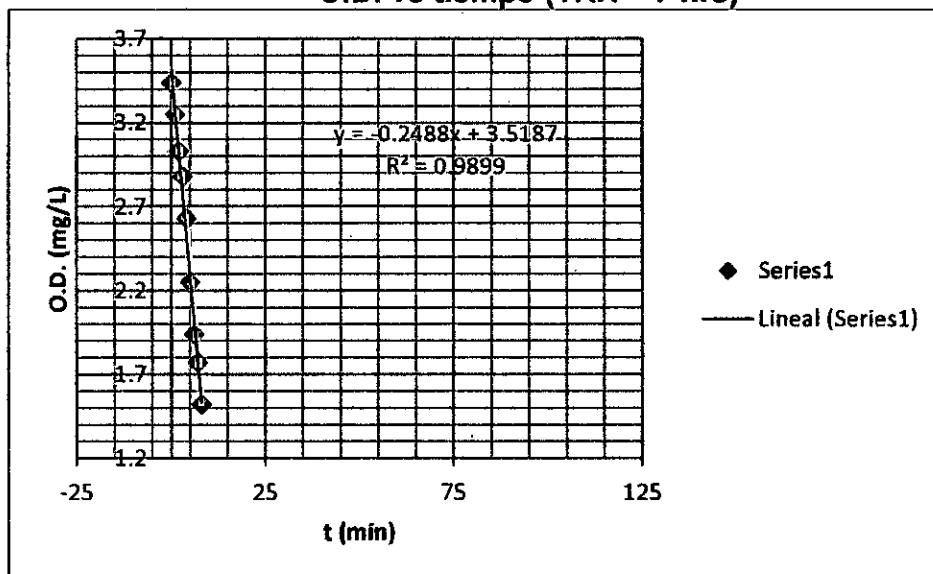
Fuente propia

**Cuadro 5. 14**  
**O.D. vs tiempo (TRH = 7 hrs)**

t (min)	O.D. (mg/L)
0	3,44
15	3,25
30	3,03
45	2,88
60	2,63
75	2,25
90	1,94
105	1,77
120	1,52
180	2,12
270	1,91
360	1,79
420	1,52

Fuente propia

**Gráfica 5. 8**  
**O.D. vs tiempo (TRH = 7 hrs)**



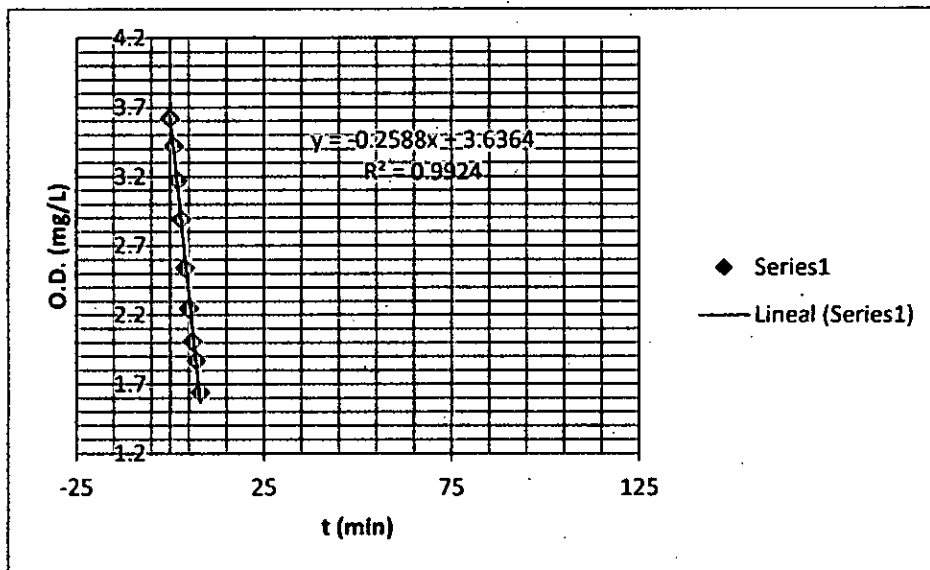
Fuente propia

**Cuadro 5. 15**  
**O.D. vs tiempo (TRH = 8 hrs)**

t (min)	O.D. (mg/L)
0	3,62
15	3,42
30	3,17
45	2,89
60	2,54
75	2,25
90	2,01
105	1,87
120	1,64
240	1,45
360	2,04
480	1,87

Fuente propia

**Gráfica 5. 9**  
**O.D. vs tiempo (TRH = 8 hrs)**



Fuente propia

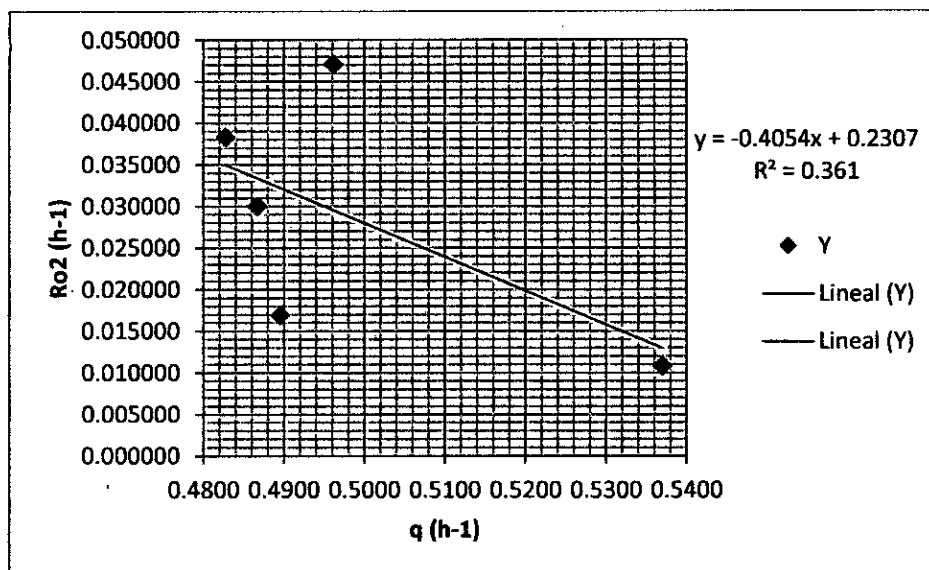
**Cuadro 5. 16**

**Datos para hallar las constantes "a" y "b"**

So (mg/L)	Se (mg/L)	Xva (mg/L)	Th (h)	q (h <sup>-1</sup> )	VUO (mg/Lmin)	VUO (mg/L h)	Ro2 (h <sup>-1</sup> )
1840	578	1175	2	0,5370	0,0141	0,8460	0,031450
1840	528	670	4	0,4896	0,0126	0,7560	0,025540
1840	520	452	6	0,4867	0,0151	0,9060	0,020040
1840	522	390	7	0,4828	0,0166	0,9960	0,011300
1840	530	330	8	0,4962	0,0173	1,0380	0,007200

Fuente propia

**Gráfica 5. 10**  
**Obtención de "a" y "b"**



Fuente propia

**5.6. Resumen de parámetros biocinéticos obtenidos para el agua residual del camal de Carhuaz.**

**Cuadro 5. 17**  
**Resumen de parámetros biocinéticos**

$K_1$ ( $h^{-1} \cdot L/mg$ )	$9 \times 10^{-4}$
Y (Kg SSV/ Kg BDO <sub>r</sub> )	0,2637
K <sub>d</sub> ( $h^{-1}$ )	0,1231
a (Kg O <sub>2</sub> /Kg DBO <sub>r</sub> )	0,4054
b ( $h^{-1}$ )	0,2307
VUO (mgO <sub>2</sub> /L.min)	9,05
Ro <sub>2</sub> (kg O <sub>2</sub> / (h kg SSV)	11,17

Fuente propia

Dónde:

$k$  = constante de velocidad de consumo de sustrato

$Y$  = coeficiente de producción de biomasa por consumo de sustrato

$k_d$  = coeficiente de consumo de biomasa por respiración endógena

$a$  = parámetro de utilización de oxígeno para la oxidación de sustrato

$b$  = parámetro de utilización de oxígeno por respiración endógena

### 5.7. Control del Proceso

Según los autores Metcalf y Eddy (1995), para mantener elevados los valores de eficiencia de remoción de materia orgánica, frente a una variedad de condiciones de funcionamiento, es fundamental controlar algunos factores principales que intervienen en el proceso de tratamiento.

✓ Mantener niveles de OD en el reactor biológico aireado entre 2 y 4 mg/L, ya que a concentraciones mayores no se producen notables mejoras en el proceso, sino más bien aumentan los costos de aireación. Para el caso de este estudio la concentración de OD por lo general fue menor a 2 mg/L, debido a que no fue posible regular el flujo de aire entregado por el difusor.

**Cuadro 5. 18**

#### **Parámetros Controlados**

Tiempo (Hrs)	OD(ppm)	PH	Temperatura (°C)
2	1,98	7,29	17,2
4	1,79	7,42	17,4
6	1,59	7,23	17,5
7	1,52	7,25	17,8
8	1,87	7,32	16,9

**Fuente propia**



### 5.8. Características del Efluente Tratado

En el cuadro 5.18. Se muestran los resultados de los análisis realizados tanto al agua residual a la salida del sedimentador primario, como al efluente obtenido después del tratamiento biológico de lodos activados, así como el porcentaje de remoción de cada parámetro.

Se nota claramente que existe una baja eficiencia de remoción comparado con lo que se debe obtener de acuerdo a los rangos de la bibliografía (85,0% – 95,0%), ello es debido a que no se logró mantener constante la cantidad suficiente de oxígeno que demandó el sistema, y además con las constantes de lodo activo no se pudo mantener el lodo durante el tiempo que se requiere para el proceso de tratamiento.

**Cuadro 5. 19**  
**Resultados Finales**

PARÁMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
pH	.....	7,68	7,75	-
DQO	mg/L	2525	580	77,03
DBO <sub>5</sub>	mg/L	1840	280	84,78
SSV	mg/L	95	75	21,05
SST	mg/L	1146	231	79,84
SDT	mg/L	3478	782	77,52
ST=SDT-SST	mg/L	2332	551	76,37
Nitrógeno total	mg/L	13	8	38,46
Fósforo total	mg/L	2,66	1,33	50,00

Fuente propia

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

➤ Los resultados del análisis en el laboratorio de la muestra de agua residual del camal de Carhuaz presentan altas concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST (1840ppm, 2525ppm Y 1146ppm respectivamente), por lo que a pesar de tener una alta eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO (77,03% y 84,78%) con el tratamiento mediante la tecnología de lodos activados no se llega a cumplir los límites máximos permisibles (**D.S.001-2009-MINAM**) en dos parámetros (DBO<sub>5</sub>=250mg/L y DQO=500mg/L), ya que necesita un tratamiento primario y/o pretratamiento más adecuado (no solo con sedimentación primaria y/o floculación) para disminuir la concentración de DBO<sub>5</sub> y así tener rangos entre 1000ppm-1500ppm (antes de que el afluente ingrese al reactor principal); además de que no pudimos mantener el oxígeno disuelto en el rango 2ppm - 4ppm (debido a que no fue constante el flujo de aire) como exige la teoría en el tratamiento convencional con lo cual no se cumple con la hipótesis.

➤ El agua residual del camal de Carhuaz tratada mediante la tecnología de lodos activado presenta 280ppm de DBO<sub>5</sub> y 580ppm de DQO) las cuales no cumplen con los límites máximos permisibles del **D.S.001-2009-MINAM** "*límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio*" (250mg/L para DBO<sub>5</sub> y 500mg/L para DQO) pero los demás parámetros solicitados (pH, SST, P<sub>total</sub>, y N<sub>total</sub>) si cumplen con los LMP.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.**

- Con respecto al antecedente “Análisis y Efectos de la Eliminación de un sedimentador primario para un Sistema de Lodos Activados para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”, ellos concluyen que tienen una remoción de 76,0% y 80,0% en remoción de DQO y DBO<sub>5</sub>, como sabemos si llegamos a tal cantidad, pero con tratamientos previos como floculación y sedimentación primaria.
  
- Con respecto al antecedente “Tratamiento de Aguas Residuales Proveniente de un Camal, mediante un Sistema de Lodos Activados”, ellos concluyen que lograron una remoción de casi el 50,0 % y aun así no llegaron a los Límites máximos permisibles del D.S.001-2009-MINAM, es cierto que hubo cambio en coloración, pero su DQO es muy alto debido a la falta de un tratamiento previo.

## VII. CONCLUSIONES

1.- Mediante la tecnología de lodos activados se trató el agua residual del camal de Carhuaz y se logró reducir la cantidad de DBO5 y DQO con porcentajes de remoción de 77,03% y 84,78% respectivamente, con un exceso del 10,7% de DBO5 (280 mg/L) y 13,7% de DQO (580 mg/L) respecto al límite máximo permisible (250mg/L para DBO5 y 500mg/L para DQO), los demás parámetros solicitados por la normatividad vigente (  $P_{total}$  ,  $N_{Total}$  , pH , SST ) están dentro de los límites máximos permisibles (LMP).

2.- Las características fisicoquímicas que presenta el agua residual del camal de Carhuaz presentan una alta concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) =1840 ppm, Demanda Química de Oxígeno (DQO) =2525 ppm, Sólidos Suspendidos Totales (SST)=1146ppm, Fósforo Total ( $P_{Total}$ )= 2,66ppm, Nitrógeno total ( $N_{Total}$ )=13ppm y pH=7,68

3.- Se implementó un tratamiento mediante la tecnología de lodos activados, para lo cual se realizó un pretratamiento mediante floculantes (test de jarras) y una sedimentación primaria ,para luego iniciar el proceso biológico y/o tratamiento secundario (etapa principal) con aireación mediante flujos de aire con bombas (5w , 9w y 15W) y difusores para continuar con la sedimentación secundaria y obtener el agua tratada para lo cual se diseñó un equipo de 60 litros ( 30 litros de agua residual más 10 litros de lodo activo) dejando el 30,0% de su capacidad para el rebose; tomando como base de diseño las características fisicoquímicas del agua afluyente con un caudal 5 litros/hora y un tiempo de retención de 6 horas.

4.- Las características fisicoquímicas del agua tratada son Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )=280 mg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) =580 mg/L, Fósforo total =8ppm, Nitrógeno total=1,33ppm, Sólidos suspendidos totales =231ppm y pH =7,75

## VIII. RECOMENDACIONES

1.- Para aumentar el porcentaje de remoción y sobrepasar los LMP, es indispensable un tratamiento terciario con carbón activado, para ir disminuyendo el color del agua residual (rojo por la sangre) y pueda retener como último proceso compuestos orgánicos aun presentes en el agua residual y/o en el sedimentador primario adicionar carbón activado con agitación para luego dejarlo sedimentar y continuar con el proceso.

2.-El muestreo es el proceso más importante antes de iniciar el tratamiento, ya que de ellos depende los resultados de las características fisicoquímicas y tener una base de diseño más real, para lo cual se debe realizar con mucho cuidado cumpliendo los procedimientos , y su traslado al laboratorio para su análisis debe ser en menos de 1 hora.

3.-Para el diseño del equipo de lodos activos se debe tener en cuenta las características fisicoquímicas del afluente después del pretratamiento, para tener un % de remoción más real de equipo de lodos activos.

4.-Estar controlando en todo momento del proceso el oxígeno disuelto ya que debe fluctuar entre (0 a 2ppm), ya que de ellos depende la eficiencia del proceso.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADALBERTO NOYOLA; MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel; PATRICIA GUERECA, Leonor. **Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales**. México. Editorial de la Universidad Autónoma de México. Primera edición. 2013.
2. ARCE JÁUREGUI, Luis Fernando. **Urbanizaciones Sostenibles: Descentralización del Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales**. Tesis para optar el grado de ingeniero. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2013.
3. ASDRUBALI M. y otros. **Los Mataderos**. España. Editorial Acribia. Primera Edición. 1969
4. BRICEÑO SOTO, Karla Yovanna. **Diagnóstico Ambiental y Plan de Manejo para el Camal Municipal de Zapotillo**. Tesis doctoral. Ecuador. Universidad Nacional de Loja. 2009.
5. CRITES R. y otros. **Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones**. Colombia. Editorial Mc Graw – Hill. Primera Edición. 2000
6. D.S.001-2009-MINAM “**Aprueba límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como planta de camales y plantas de beneficio**”. Ministerio del Ambiente. Lima. Perú 2009
7. ESPINOZA PAZ, Ramón Enrique. **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores**. Tesis de maestría. Lima. Universidad de Piura. 2010.
8. FOGLER, H. **Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas**. México. Editorial Prentice Hall. Primera Edición. 2008.
9. GIL RODRÍGUEZ, M. **Procesos de Descontaminación de Aguas**. España. Editorial Spain Paraninfo S.A. Primera Edición. 2005

10. GRUPP GUTIÉRREZ, Adriane. **Diseño de un Modelo de Planta para Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas con Tanques Fibratank**. Tesis para optar el grado de ingeniero. Venezuela. Universidad Simón Bolívar. 2010
11. INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM . **DSelección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales**. Mexico. Universidad Autonoma de Mexico. 2013
12. LARA VILLACÍS, Ligia Elena. **Las Aguas Residuales del Camal Municipal del Cantón Baños y su Incidencia en la Contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua**. Tesis para el grado de ingeniero. Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 2011
13. LEVENSPIEL O. **El Minilibro de los Reactores Químicos**. España. Editorial Reverté S.A. Primera Edición. 2002.
14. MARTINEZ S. y otros. **Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB**. México. Editorial Reverté S.A. Primera Edición. 2005.
15. Mc. CARTY P. **Biología del Medio Ambiente: Principio y Aplicaciones**. México. Editorial Mc Graw – Hill. Primera Edición. 2001
16. METCALF Eddy. **Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización**. México. Editorial Mc Graw – Hill. Primera Edición. 1996
17. MONTOYA TABARES, Carlos Mario. **Modelo Matemático que Permita Evaluar el Cambio de la DBO<sub>5</sub> Soluble Debido a Agentes Inhibitorios en un Proceso de Lodos Activados**. Tesis de maestría. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2012
18. MORALES HARO, Eduardo Andrés. **Estudio Experimental y Modelización de los Parámetros Biocinéticos en la Evaluación de un Reactor de Lodos Activados de una Planta de Tratamiento Alimentaria**. Tesis para optar el grado de ingeniero. Ecuador. Escuela Superior politécnica del Litoral. 2013

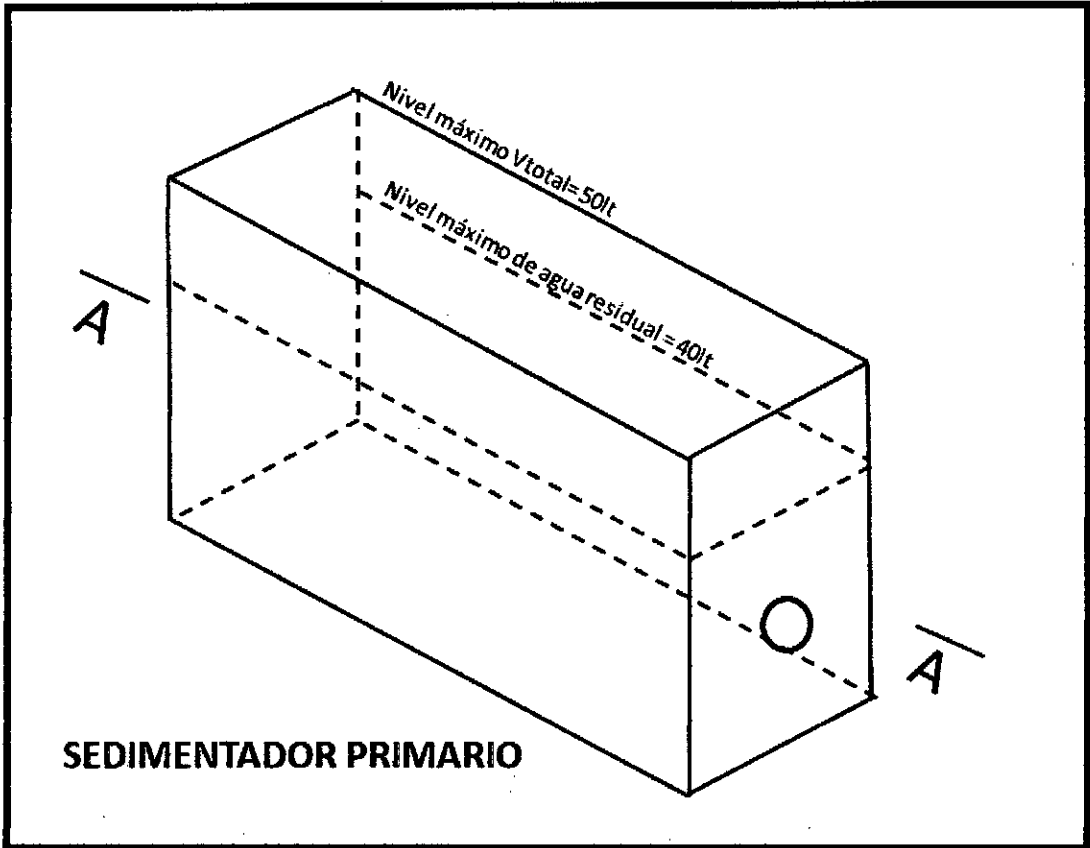


19. NOYOLA ADALBERTO y otros. **Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales**. México. Editorial Mc Graw – Hill. Primera Edición. 2013.
20. PONTÓN TOMASELLI, Ángeles Tatiana. **Reingeniería del Camal Municipal de Machala**. Tesis para optar el grado de ingeniero. Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2006
21. QUIJANO GUERRERO, HUMBERTO. **Manual de Sacrificio e Industrialización del Cerdo**. México. Editorial Trillas. 1999
22. RAMALHO R. S. **Tratamiento de Aguas Residuales**. España. Editorial Reverté S.A. Primera Edición. 2003.
23. RIGOLA LAPEÑA M. **Tratamiento de Aguas Industriales Aguas de Proceso y Residuales**. México. Editorial Alfaomega. Primera Edición. 1999.
24. RODRÍGUEZ A. **Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales**. Madrid. Editorial CEIM. Primera Edición. 2006.
25. ROMERO J. **Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño**. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Primera Edición. 2008.
26. RONZANO E. **Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales**. España. Editorial Díaz de Santos S.A. Primera Edición. 2002.
27. SALAS C. Gilberto, CONDORHUAMÁN C. Cesario. **Tratamiento de las Aguas Residuales de un Centro de Beneficio o Matadero de Ganado**. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Vol 11: 29 – 35. 2008
28. SIERRA RAMÍREZ C. **Calidad de Agua, Evaluación y Diagnóstico**. Colombia. Editorial de la U. Primera Edición. 2011.
29. TCHOBANOUGLUS Crites. **Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones** . Colombia. Mc Graw Hill. Primera Edición. 2000

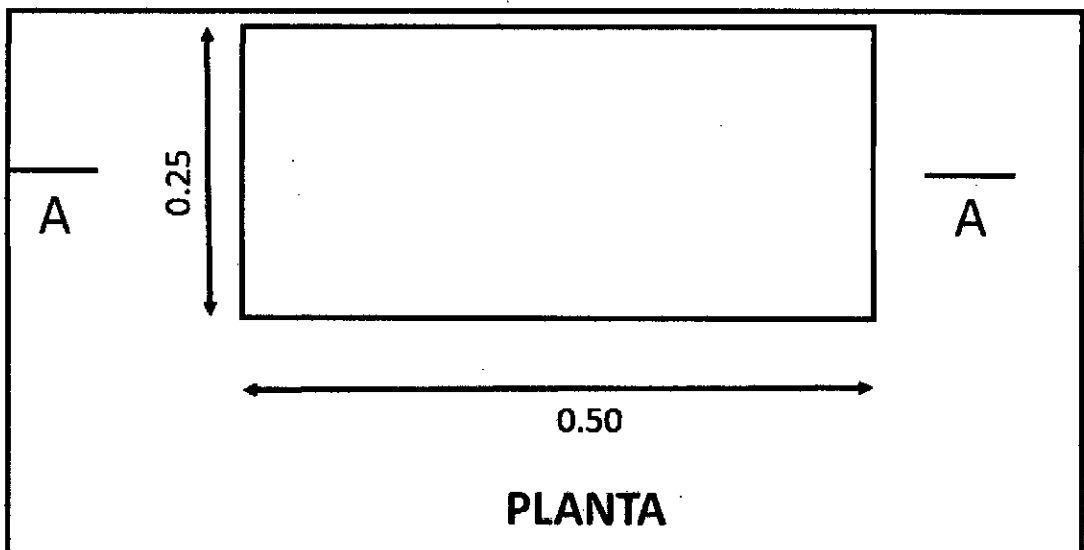
- 30. TCHOBANOUGLUS G y Burton F. Ingeniería de aguas residuales:Redes de alcantarillado y bombeo . España. Mc Graw Hill. Primera Edición. 1995**
- 31. VIRACUCHA ORTIZ, Sandra Maribel. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Generadas en un Ingenio Azucarero – con la Tecnología de Lodos Activados. Tesis para optar el grado de ingeniero. Quito. Universidad Central del Ecuador. 2012**

# **ANEXOS**

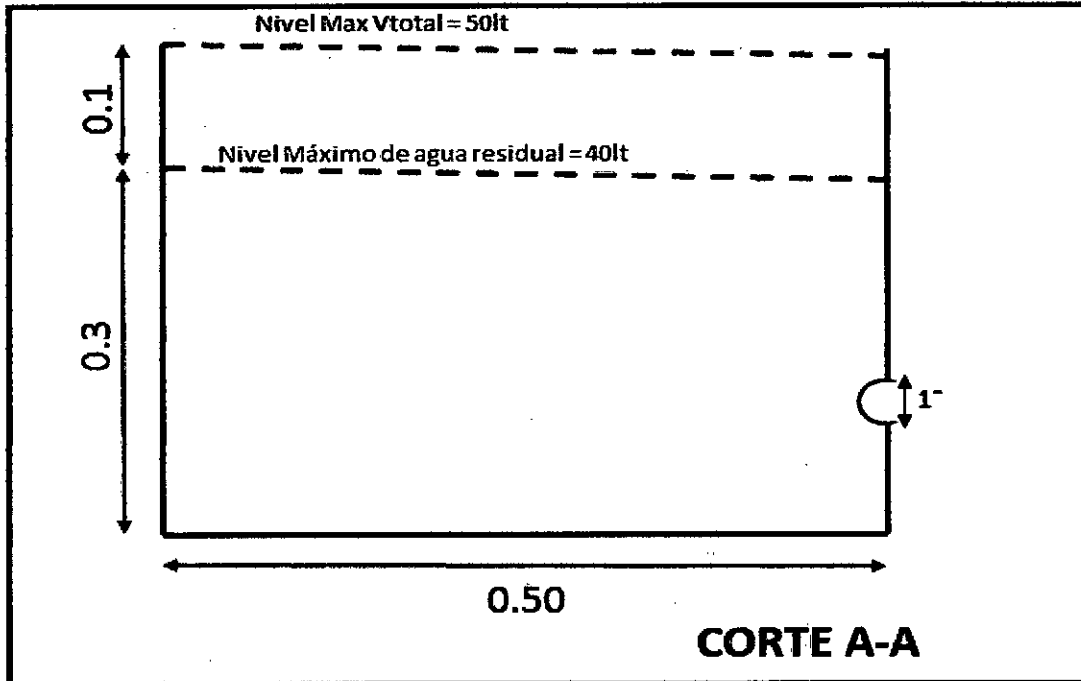
## ISOMÉTRICO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO



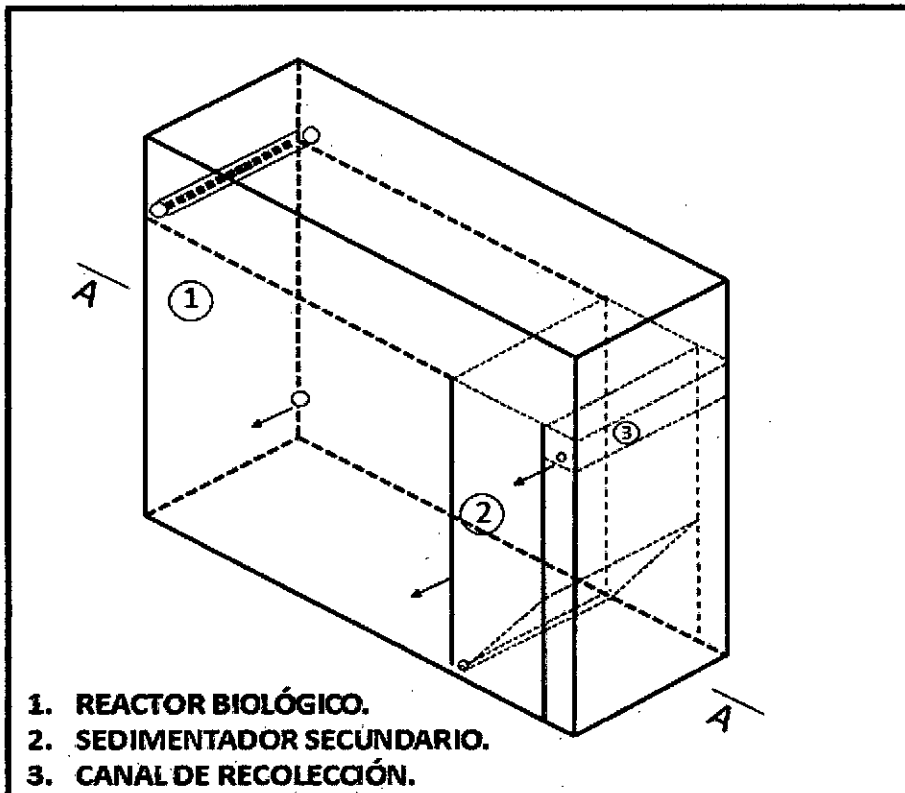
## VISTA DE PLANTA DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO



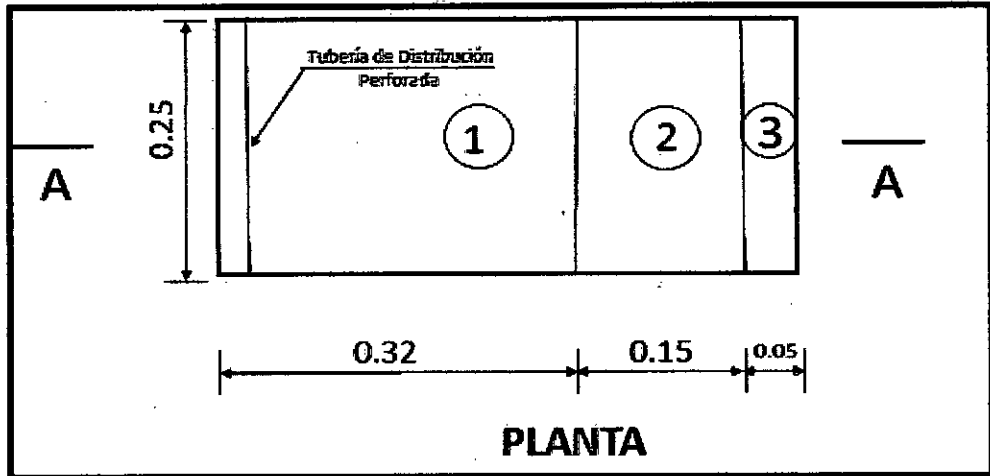
### CORTE A - A DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO



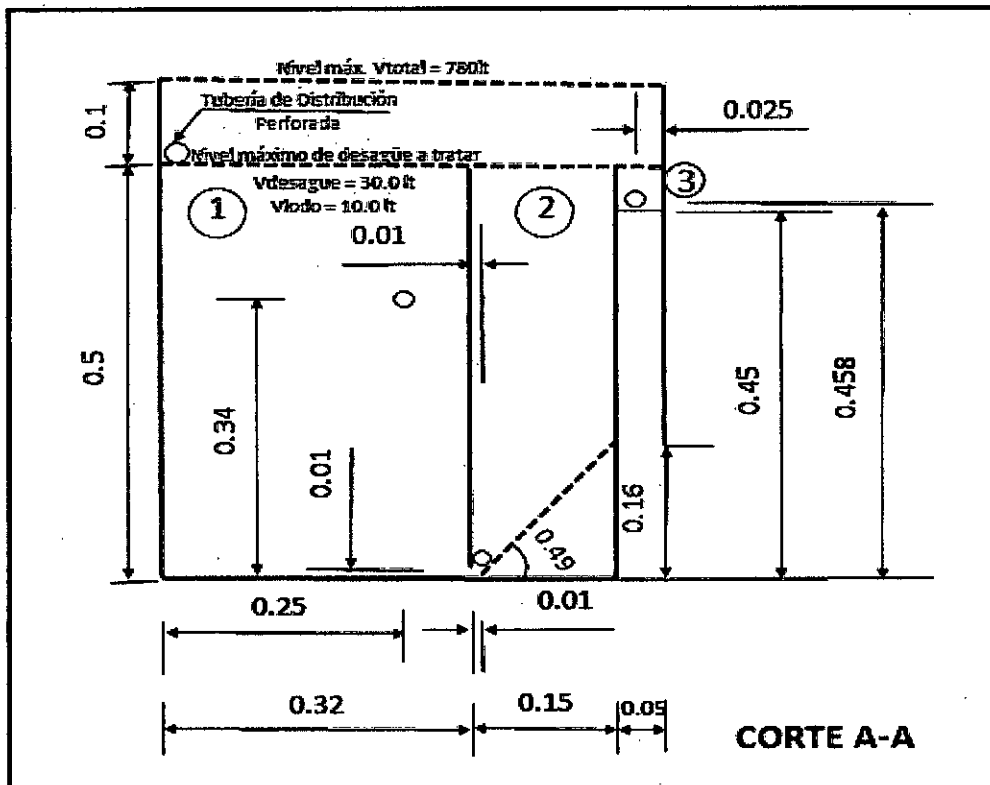
### ISOMÉTRICO DE PLANTA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO



### VISTA DE PLANTA



### CORTE A - A



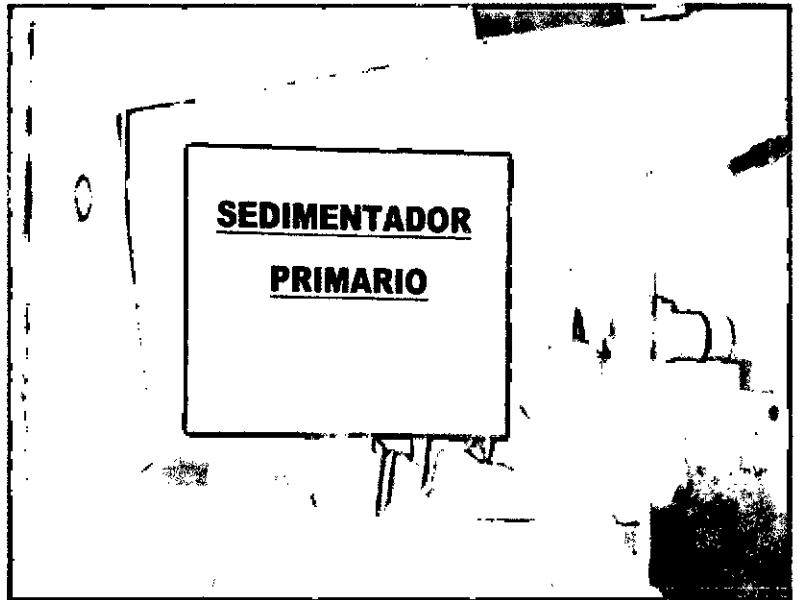
## IMÁGENES DE LA PLANTA A NIVEL LABORATORIO

**TANQUE COLECTOR**



**Fuente propia**

**SEDIMENTADOR PRIMARIO**



**Fuente propia**

**REACTOR PRINCIPAL**



**Fuente propia**

## INSTALACIÓN DE LOS DIFUSORES



Fuente propia

## INSTALACIÓN DE BOMBAS DE AIRE



Fuente propia



# TÍTULO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE CARHUAZ MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

PRESENTADO POR: \* QUISPE CASTILLO, EDUARDO FRANCISCO \* RAMIREZ TREJO, ALEXANDER KEVIN  
 ASESOR: MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál debe ser el proceso de tratamiento de un agua residual proveniente del camal de Carhuaz mediante la tecnología de lodos activados?	Determinar el proceso de tratamiento del agua residual proveniente del camal de Carhuaz.	El proceso de tratamiento del agua residual proveniente del camal de Carhuaz es mediante la tecnología de lodos activados en medio aerobio.	X= Aguas residuales provenientes del camal de Carhuaz	Eficiencia del tratamiento	Porcentaje de remoción de contaminantes.	Experimental
PROB. ESPECÍFICOS	OBJ. ESPECÍFICOS	HIP. ESPECÍFICAS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual proveniente del camal de Carhuaz?	a) Evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual proveniente del camal de Carhuaz.	a) El agua residual proveniente del camal de Carhuaz tiene un alto contenido de DBO, coliformes totales y partículas en suspensión.	Y1= Lodos activados, como tecnología de tratamiento de Aguas residuales del camal de Carhuaz	Calidad del agua residual proveniente del camal de Carhuaz	- BDO inicial - Sólidos suspendidos totales - Coliformes totales	- Análisis de laboratorio. - Análisis de laboratorio.  - Análisis de laboratorio.
b) ¿Cómo implementaría la tecnología de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales del camal de Carhuaz?	b) Aplicar la tecnología de lodos activados.	b) Las implementaciones son mediante el uso de soporte para la flora bacteriana en medio aerobio	Y2= Características de la implementación de la tecnología de Lodos Activados	Sistema de tanques mediante aireación.	- Tamaño - Flujo - pH	- Experimental. - Experimental. - Experimental
c) ¿Cuáles son las características del agua tratada?	c) Evaluar las características del agua tratada	c) Las características de las aguas tratadas están dentro de los límites permisibles.	Y3= Características fisicoquímicas del agua tratada.	Calidad del agua tratada proveniente del camal de Carhuaz.	- DBO final - Sólidos suspendidos totales - Coliformes totales	- Análisis de laboratorio. - Análisis de laboratorio. - Análisis de laboratorio.

**RELACIÓN DE VARIABLES:**  $X = f(Y1, Y2, Y3)$

**X=** Aguas residuales provenientes del camal de Carhuaz.

**Y1=** Lodos activados, como tecnología de tratamiento de aguas residuales del camal de Carhuaz

**Y3=** Características de la implementación de la tecnología de Lodos Activados.

**Y2=** Característica fisicoquímicas del agua tratada.