



Universidad Nacional de La Amazonía Peruana

Facultad de Ingeniería Química

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Química

**TESIS**

**“Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico - ambiental en la ciudad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6 – 2015”**

Autores

Bach. Heidy Stephany Victoria Díaz Pérez

Bach. Jhon Rissel Caballero Shavier

Asesor:

Juan Arturo Díaz Rengifo

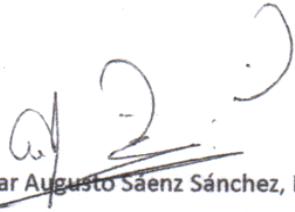
Dr. Ingeniero Químico

**2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

JURADOS



Ing. Cesar Augusto Saenz Sánchez, Dr.

CIP: 32630

Presidente



Ing. Víctor García Pérez

CIP: 33277

Miembro



Ing. Luis Gómez Tuesta

CIP: 55288

Miembro

ASESOR



Ing. Arturo Díaz Rengifo, Dr.

CIP: 71284



**UNAP**

Facultad de  
Ingeniería Química



**ACTA DE SUSTENTACIÓN**

En la ciudad de Iquitos, a las DOCE HORAS CON CINCO MINUTOS del vigésimo séptimo día del mes de febrero del año dos mil dieciséis, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se dio inicio al acto público de sustentación de la tesis titulada: **"SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO-AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE IQUITOS MEDIANTE EL USO DE SUPER-PRO DESIGNER V6-2014"**, presentada por los bachilleres: Heidy Stephany Victoria Díaz Pérez y Jhon Rissel Caballero Shavier para obtener el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO** que otorga la UNAP, de acuerdo a la Ley 30220 y el Estatuto General de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

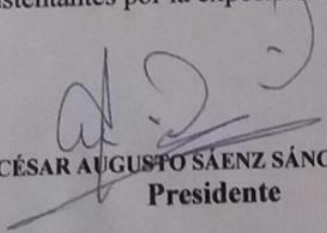
El Jurado Calificador nombrado por la Dirección de Escuela de Formación Profesional, está integrado por los siguientes catedráticos:

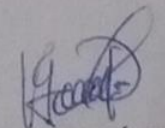
<b>Ing. CÉSAR AUGUSTO SÁENZ SÁNCHEZ, Dr.</b>	<b>Presidente</b>
<b>Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ</b>	<b>Miembro</b>
<b>Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA</b>	<b>Miembro</b>
<b>Ing. JUAN ARTURO DÍAZ RENGIFO, Dr.</b>	<b>Asesor</b>

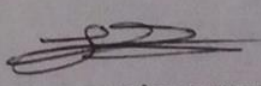
Luego de haber escuchado con mucha atención la exposición y formuladas las preguntas respectivas las que fueron respondidas en forma SATISFACTORIA, el Jurado Calificador -previa deliberación- llegó a las siguientes conclusiones:

- 1° La tesis ha sido: APROBADA Por: UNANIMIDAD  
Con calificación de: BUENA
- 2° Observaciones: EN HOJA ADJUNTA

Siendo las TRECE HORAS Y TRENTA MINUTOS se dio por terminado el acto, felicitando a los sustentantes por la exposición.

  
Ing. CÉSAR AUGUSTO SÁENZ SÁNCHEZ, Dr.  
**Presidente**

  
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ  
**Miembro**

  
Ing. LUIS GÓMEZ TUESTA  
**Miembro**

# DEDICATORIA

A Dios que me ha heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo “sus padres”. A mis Padres: Arturo Díaz y Maria Pérez; quienes sin escatimar esfuerzo alguno sacrificaron una gran parte de su vida para educarme, a mis hermanos: Mario Díaz y Ludwing Diaz; quienes la ilusión de su vida ha sido verme convertida en un Gran Ingeniera, y por ultimo a mi Esposo: Miguel Zambrano; Gracias por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación porque con tu apoyo hoy logre uno de mis más Grandes anhelo; Con cariño y Agradecimiento infinito Stephany Díaz.

A mis padres por la educación que me brindaron, en especial a mi madre, Rosana Shavier y a mi hermana Elida Caballero por ayudarme a concretar este primer y gran paso en mi carrera, con agradecimiento Jhon Caballero

# AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su sincero agradecimiento a las siguientes personas:

- Al Ing. Arturo Diaz Rengifo Dr, por su acertada dirección y asesoramiento en el presente trabajo.
- A la familia Díaz Perez, Por su apoyo en la elaboración del presente trabajo

<b>CONTENIDO</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>CAPÍTULO I</b>		
<b>INTRODUCCIÓN</b>		<b>1</b>
<b>1.1.0.0. GENERALIDADES</b>		<b>1</b>
<b>1.2.0.0. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ</b>		<b>2</b>
<b>1.3.0.0. MARCO LEGAL DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL PERÚ</b>		<b>6</b>
<b>1.4.0.0. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS</b>		<b>8</b>
<b>1.5.0.0. JUSTIFICACIÓN</b>		<b>11</b>
<b>1.6.0.0. HIPÓTESIS</b>		<b>12</b>
<b>1.7.0.0. OBJETIVOS GENERALES</b>		<b>12</b>
<b>1.7.1.0. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>		<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>MARCO TEÓRICO</b>		
<b>2.1.0.0. AGUAS RESIDUALES</b>		<b>14</b>
<b>2.1.1.0. DIGESTIÓN ANAEROBIA</b>		<b>15</b>
<b>2.1.2.2 MICROBIOLOGÍA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA</b>		<b>19</b>
<b>2.1.2.0. DIGESTIÓN AEROBIA</b>		<b>22</b>
<b>2.1.3.0. SULFATO REDUCCIÓN</b>		<b>23</b>
<b>2.2.0.0 LAS AGUAS RESIDUALES</b>		<b>25</b>
<b>2.2.1.0. LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS</b>		<b>25</b>
<b>2.2.2.0. LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES</b>		<b>26</b>
<b>2.2.3.0. TIPOS DE CONTAMINANTES</b>		<b>26</b>

<b>2.3.0.0. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1.0. PRE TRATAMIENTO</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2.0. TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	<b>31</b>
<b>2.3.3.0. TRATAMIENTO SECUNDARIO.</b>	<b>36</b>
<b>2.3.4.0. TRATAMIENTO Terciario</b>	<b>36</b>
<b>2.4.0.0. TRATAMIENTOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS</b>	<b>39</b>
<b>2.4.1.0. TRATAMIENTOS AERÓBICOS – EQUIPOS</b>	<b>39</b>
<b>2.4.1.1. LAGUNAS AIREADAS</b>	<b>39</b>
<b>2.4.1.2. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS</b>	<b>40</b>
<b>2.4.2.0. TRATAMIENTO ANAEROBIO – EQUIPOS</b>	<b>41</b>
<b>2.4.2.1. REACTORES DE PRIMERA GENERACIÓN</b>	<b>43</b>
<b>2.4.2.2. REACTORES DE SEGUNDA GENERACIÓN</b>	<b>44</b>
<b>2.4.2.3. REACTORES DE TERCERA GENERACIÓN</b>	<b>45</b>
<b>2.5.0.0. NORMAS TÉCNICAS EN EL PERÚ.</b>	<b>45</b>
<b>2.6.0.0. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN</b>	
<b>          IQUITOS</b>	<b>50</b>
<b>2.6.1.0. UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>50</b>
<b>2.6.2.0. POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA</b>	<b>51</b>
<b>2.6.3.0 CLIMA</b>	<b>52</b>
<b>2.6.4.0. SUELO</b>	<b>53</b>
<b>2.6.5.0 RIESGOS NATURALES</b>	<b>53</b>
<b>2.7.0.0. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>55</b>
<b>2.7.1.0. Cámara de llegada</b>	<b>55</b>
<b>2.7.2.0. Cámara de rejillas y medidor de caudal</b>	<b>56</b>
<b>2.7.3.0. Cámara de tamices</b>	<b>57</b>

<b>2.7.4.0. Desarenador</b>	<b>57</b>
<b>2.7.5.0. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)</b>	<b>59</b>
<b>2.7.6.0. Reactor de oxidación de mezcla completa</b>	<b>60</b>
<b>2.7.7.0. Filtro percolador</b>	<b>60</b>
<b>2.7.8.0. Sedimentadores secundarios</b>	<b>61</b>
<b>2.7.9.0. Tanque de desinfección</b>	<b>61</b>
<b>2.7.10.0. Secado de lodos</b>	<b>62</b>
<b>2.7.11.0. Conductos de distribución y recolección</b>	<b>63</b>
<b>2.7.12.0. Estación de bombeo</b>	<b>63</b>
<b>2.7.13.0. Emisor y disposición final de aguas residuales tratadas</b>	<b>64</b>
<b>2.7.14.0. Disposición final de lodos</b>	<b>65</b>
<b>2.7.15.0. Obras complementarias</b>	<b>65</b>
<b>2.8.0.0. DIAGRAMA EN BLOQUES</b>	<b>67</b>
<b>2.9.0.0. ASPECTOS DEL PTAR</b>	<b>68</b>
<b>2.10.0.0 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DEL PTAR A LA DESCARGA AUTORIZADO POR LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DEL AGUA (ANA)</b>	<b>69</b>
<b>2.11.0.0 INVERSIÓN</b>	<b>73</b>
<b>2.12.0.0 SIMULACIÓN</b>	<b>74</b>
<b>2.12.1.0. DEFINICIÓN E IMPORTANCIA</b>	<b>74</b>
<b>2.12.2.0. ETAPAS EN LA SIMULACIÓN</b>	<b>75</b>
<b>2.13.0.0 MODELOS DE SIMULACIÓN</b>	<b>77</b>
<b>2.14.0.0. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE</b>	<b>79</b>
<b>2.14.1.0. PANEL</b>	<b>80</b>
<b>2.14.2.0. MENÚ Y HERRAMIENTAS.</b>	<b>81</b>
<b>2.14.3.0. EL MENÚ DE LA UNIDAD DE PROCESOS.</b>	<b>82</b>



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

<b>3.1.0.0. TIPO DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO</b>	<b>83</b>
<b>3.2.0.0 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.</b>	<b>83</b>
<b>3.3.0.0. POBLACIÓN CALCULADA Y CAUDAL</b>	<b>84</b>
<b>3.4.0.0. CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL – PTAR</b>	<b>85</b>
<b>3.5.0.0. DISEÑO PROPUESTO</b>	<b>85</b>
<b>3.6.0.0. CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL PROPUESTO PARA LA SIMULACIÓN</b>	<b>86</b>
<b>3.7.0.0. DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<b>87</b>
<b>3.8.0.0. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE INGENIERÍA A USAR EN LA ELABORACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN</b>	<b>88</b>
<b>3.9.0.0. SOFTWARE ELABORADO PARA LA SIMULACIÓN DEL PTAR – IQUITOS.</b>	<b>90</b>
<b>3.10.0.0. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD</b>	<b>91</b>

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

<b>4.1.0.0. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN TÉCNICA</b>	<b>92</b>
---	-----------

<b>4.1.1.0. DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>93</b>
<b>4.1.2.0. ESTEQUIOMETRÍA DE LOS SUSTRATOS.</b>	<b>94</b>
<b>4.1.3.0. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>95</b>
<b>4.1.4.0. BALANCE DE MATERIALES</b>	<b>97</b>
<b>4.2.0.0. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN ECONÓMICA</b>	<b>100</b>
<b>4.3.0.0. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN AMBIENTAL</b>	<b>102</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>5.1.0.0. CONCLUSIONES</b>	<b>104</b>
<b>5.2.0.0. RECOMENDACIONES</b>	<b>106</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXO 01</b>	
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	
<b>ANEXO 02</b>	
<b>SIMULATION MODEL</b>	

## **RESUMEN**

El presente trabajo trata sobre la simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Iquitos, haciendo uso de un software de Ingeniería de nombre Superpro Designer en la versión 6.

Para realizar la simulación se tuvo que tomar en cuenta, los parámetros operacionales como caudal, presión, temperatura, cobertura de saneamiento, el horizonte de diseño y las características físicas, químicas y biológicas de las aguas servidas de la ciudad de Iquitos que consideró el estudio de inversión del PTAR-Iquitos, construido en el Distrito de Punchana Nuevo Versailles, el cual, viene operando actualmente.

Cabe mencionar que en la etapa de tratamiento primario y secundario, el PTAR-Iquitos, en el proceso biológico tiene un sistema híbrido, es decir, usa un proceso aerobio y anaerobio, en cambio en el proceso biológico estudiado, solamente se trata mediante un proceso aerobio.

Para elaborar el software aplicativo en la plataforma de Superpro Designer, se tuvo que identificar y seleccionar los equipos de ingeniería, basándonos en el diagrama de equipos se elaboró el software, se enlazaron los equipos para conformar el proceso con las características operacionales, físicas, químicas y biológicas similares al PTAR-Iquitos.

El caudal másico del afluente es de 31 25417 Kg/h (24.7 MT/Año) considerando 330 días por año.

El reporte económico que se obtiene es de de \$ 416 191 000, con un costo operativo de \$ 109 329 000 por año, un tiempo de retorno de la inversión de 5 años, a una tasa de interés bancario del 12 %.

En el reporte ambiental, no se encontró impactos negativos significativos.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1.0.0. GENERALIDADES

La contaminación de las aguas residuales es un problema que hoy en día se ha tomado en cuenta en todos los países y se ha establecido normas legales para proteger el medio ambiente, especialmente en una ciudad como Iquitos en la provincia de Maynas, departamento de Loreto que alberga a más de 500 mil habitantes y se encuentra geográficamente flanqueado principalmente por los ríos Nanay, Itaya, Morona Cocha y la laguna de Rumococha. Sus principales actividades son principalmente comerciales, turísticas, seguido de actividades industriales y de servicios básicos. Estas actividades económicas en sus desarrollo producen aguas contaminadas por el uso de las aguas que provee la Empresa de servicios de agua (SEDALORETO) los cuales producen una carga contaminante de aguas residuales que actualmente se vierten a los ríos más cercanos como el Morona Cocha, el Itaya y el Nanay en su último tramo de recorrido para desembocar al río Amazonas, por lo que el Gobierno Regional de Loreto (GOREL) ha tomado la decisión de construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con la finalidad de reducir la carga contaminante. Existieron algunas plantas que generaron aguas residuales con alto contenido biológico y químico que incrementaba la carga contaminante de las aguas en los ríos, como la planta de elaboración de bebidas gasificadas (Embotelladora La Selva S.A. - Productos de Coca cola, Fanta y Spray) y plantas de elaboración de bebida fermentada (Cerveza AMAZÓNICA S.A.), planta de generación de energía eléctrica (ELECTRO ORIENTE) así como también, la misma planta de SEDALORETO, todas estas descargan aguas servidas en el litoral de Iquitos con alto contenido de sustancias orgánicas (biodegradables) e inorgánicas (no degradables) que ponen en alto riesgo la vida en los ecosistemas acuáticos de plantas y animales, así mismo, la vida de los ciudadanos y los pobladores asentados en las orillas de los ríos.

Dado las normas y exigencias ambientales, hoy en día las plantas industriales mencionadas líneas arriba tienen su propio PTAR en el interior de ellos, disminuyendo la carga contaminante en los ríos.

En épocas pasadas manufacturar un producto industrial, requería de previos análisis cualitativos y cuantitativos a nivel de laboratorio para conocer el procedimiento de la tecnología industrial sea cualquiera el producto que se quería obtener, luego se proyectaba a una mayor escala los procedimientos del laboratorio a una planta piloto y realizar ensayos para conocer el proceso y las operaciones de la tecnología en un tamaño real mini dimensionada con elevados costos de inversión y una descontrolada generación de residuos materiales, sean éstos, líquidos, sólidos y gaseosos, así como también, energéticos tanto en la etapa inicial, de procesamiento y obtención del producto principal.

Hoy en día, gracias a los avances de la tecnología informática y la electrónica, podemos contar con avanzados sistemas computarizados que nos permite simular procesos industriales. Estas tecnologías modernas, como el LabVIEW, el CHENCAD, el HYSSIS, el SUPER PRO DISIGNER, entre otros, que permiten desarrollar sistemas virtuales para simular sistemas reales de procesos industriales a un costo muy bajo y a cero costo ambiental.

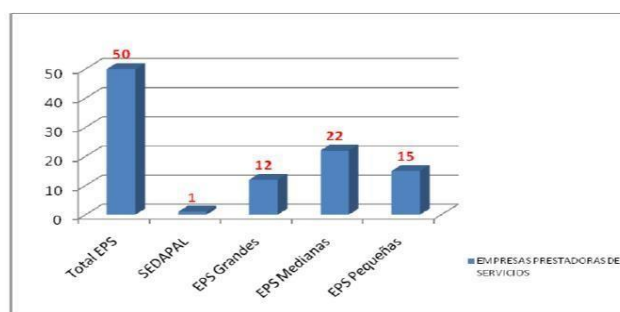
#### **1.2.0.0. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ**

En el año 2007 el Perú tenía una población total de 28,3 millones de habitantes, de los cuales 21,1 millones vivían en zonas urbanas; y los restantes 7,2 millones, en zonas rurales. Políticamente, el país está dividido en 24 departamentos que, a su vez, se subdividen en 196 provincias y 1 833 distritos. De los 1 833 distritos del Perú, 1 520 son atendidas por las municipalidades, juntas administradoras de servicios de

saneamiento u otras; mientras que 312 se encuentran bajo el ámbito de EPS Supervisadas por la SUNASS. [1]

En el ámbito de supervisión de SUNASS se tienen 50 EPS (ver gráfico 01), de las cuales 48 son empresas municipales; una, SEDAPAL, se encuentra bajo la responsabilidad del Gobierno Central; y otra, Aguas de Tumbes (ATUSA), se encuentra en Concesión.

Graf. 01 Empresas de prestación de servicios de saneamiento



Cada cual en su ámbito, estas EPS brindan los servicios de agua potable y alcantarillado a un total de 314 distritos a nivel nacional, encontrándose bajo su ámbito de administración un total de 18,1 millones de habitantes, es decir un 85 % de la población urbana y un 62 % de la población total a nivel nacional, de los cuales cuentan con los servicios de agua potable y alcantarillado un total de 15,2 y 13,7 millones de habitantes respectivamente.

De todas las EPS, SEDAPAL, que atiende a la capital de la República y a la provincia constitucional del Callao, es la mayor de todas; en el área geográfica de su jurisdicción están concentrados 8,4 millones de habitantes, siendo la mayor parte (48,8%) de la población urbana del ámbito de todo el conjunto de las EPS supervisadas por la SUNASS [2].

Según el número de conexiones cubiertas, las EPS se han clasificado en 4:

- a) SEDAPAL: Por ser la EPS que abastece a la ciudad de Lima y Callao, constituye un grupo por sí misma, ya que tiene 1,28 millones de conexiones de agua potable.
- b) EPS Grandes: Son las que abastecen a ciudades grandes, por lo que tienen entre 40 mil a 200 mil conexiones de agua potable.
- c) EPS Medianas: Tienen entre 10 mil a 40 mil conexiones de agua potable.
- d) EPS Pequeñas: Son las que abastecen a poblaciones urbanas pequeñas, por lo que tienen menos de 10 mil conexiones de agua potable. En la siguiente figura 01 se aprecia las diferentes empresas prestadoras de servicios de saneamiento.

Fig. 01 Ubicación de empresas prestadoras de servicios de saneamiento en el Perú



Fuente: SUNASS 2013

En el 2009, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento registró que el volumen de aguas residuales volcado a la red es de 786 379 599 m<sup>3</sup> anual, de los cuales solamente el 35% es tratado.

En el primer semestre del año 2010 se ha supervisado el cumplimiento de metas de gestión en 10 EPS, contándose a la fecha con los resultados a nivel de informe final de supervisión de 9 de ellas. De las 9 EPS que se tienen resultados, 6 aceptaron ser supervisadas mediante el proceso rápido y 3 optaron por un proceso de supervisión tradicional [3].

En la ciudad de Iquitos, el volumen de las aguas residuales será tratado en una planta de tratamiento de aguas residuales, situado en el distrito de Punchana – Asentamiento humano Nuevo Versalles. Este mega proyecto [4], viene siendo ejecutado por el Gobierno Regional de Loreto a través del Organismo Público de Infraestructura para la Productividad (OPIP), para los cual en el 2007 estaba planeado servir a una población de 257 157 habitantes que representa el 65%, en el 2017 a una población de 379 963 habitantes que representa un 78 % y en el 2027 a una población de 460 356 habitantes que representa un 81%. El volumen de aguas residuales será de 21 081 816 m<sup>3</sup>/día [5], con una inversión de S/. 421 092 389 nuevos soles [6].



Figura 02. Planta de tratamiento de aguas residuales proyectado



### 1.3.0.0. MARCO LEGAL DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL PERÚ

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento. El cuadro 01 muestra el resumen del marco legal en el Perú para el sector saneamiento [7]

Cuadro 01. Marco legal en el Perú para el sector saneamiento

Constitución Política del Perú	31/10/1993	Base del ordenamiento jurídico nacional
Ley de Reforma sobre Descentralización	Ley N° 27680	Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local
Ley General de Salud	Ley N° 26842	El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reusó de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilaría su cumplimiento.
Ley General del Ambiente	Ley N° 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reusó, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan
Aprueban los ECA para agua	D.S. N° 002-2008-MINAM	Aprueban estándares de calidad ambiental para agua publicado en el Diario El Peruano el 31 de Junio del 2008
Aprueban disposición para la implementación de los ECAs para Agua	D.S. N° 023-2009-MINAM	Aprueban disposición para la Implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de Abril del 2010

Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Domésticas o Municipales	D.S. N° 003-2010-MINAM	Cumplimiento de los límites máximos permisibles de PTAR (ver cuadro 4)
Ley Marco para la Inversión Privada	D.L. N° 757	Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes
Ley Orgánica de Gobiernos Regionales	Ley N° 27902	Regula la participación de los Alcaldes Provinciales y la Sociedad Civil en los <del>Gobiernos Regionales fortalecer el proceso de Descentralización y Regionalización</del>
Ley de Creación, Organización y funciones del MINAM	D.L. N° 1013	Crea el Ministerio del Ambiente y establece su ámbito sectorial y regula la
Ley Orgánica de Municipalidades	Ley N° 27972	estructura orgánica, competencias y funciones del mismo Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza, autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico
Ley del Procedimiento Administrativo General	Ley N° 27444	de las municipalidades. Regula las actuaciones de la función administrativa del Estado y el
Ley de Recursos Hídricos	Ley N° 29338	procedimiento administrativo común desarrollados en las entidades. Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial,
Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA	(2009) R.J. N° 0291-2009-ANA	subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas residuales tratadas
Resolución Jefatural N° 0351-2009-ANA	ANA R.J. N° 0351-2009-ANA	Modifican R.J. N° 0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones
Aprobación del TUPA del MINSAs y sus Órganos Desconcentrados	ANA D.S. N° 013-2009	de vertimientos y reúsos de aguas residuales tratadas Unifica y estandariza los procedimientos administrativos que se siguen antes las
Ley del Sistema Nacional de evaluación del Impacto ambiental	SA Ley N° 27446	distintas instancias del MINSAs, sus órganos desconcentrados y organismos públicos descentralizados Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos,
Ley General de Servicio de Saneamiento y su texto unico ordenado del Reglamento Código Penal	Ley N° 26338	etapas, y alcances de las evaluaciones del Impacto ambiental de proyectos de Inversión. Regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rural y urbano
	D. Leg. N° 635 (03-04-91)	Concreta los postulados de la moderna política criminal, sentando la premisa que el Derecho Penal es la garantía para la viabilidad posible en un
Norma procesal penal ambiental	Ley N° 26631	ordenamiento social y democrático de derecho Para efecto de formalizar denuncia de la legislación ambiental
Normas y procedimientos de remediación ambiental	D. .Leg. N°234 (2014)	Normas y procedimientos para la remediación ambiental en el uso de aguas residuales

#### 1.4.0.0. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

**CORNEJO María. (2006)** realizó un estudio de tesis en la ciudad de Iquitos, para optar el título de Ingeniero Químico con el tema de optimización de parámetros de operación de equipos, sistemas de generación y transporte de energía en la refinería Iquitos en la región Loreto. El trabajo trata sobre el desarrollo (diseño, construcción y validación) de un instrumento virtual en soporte LabVIEW versión 6 i, para simular la conducción térmica estacionaria y unidireccional, denominado SICOTEU. Se utiliza el lenguaje gráfico de programación LabVIEW 6 i, por su versatilidad y su amigabilidad con el usuario. Se precisa según el diseño los datos de entrada de forma general y específica, el procesamiento de los datos y la salida de los mismos de forma numérica y gráfica [8].

**LLERENA Tony (2009)**, en su tesis, modelado y simulación de la planta piloto de alcohol de la Facultad de Ingeniería Química en la Región Loreto, diseñó un modelo de un sistema de destilación binaria para alcohol, que simule el comportamiento de las variables termodinámicas más importantes en una columna de destilación. El sistema de destilación se formuló para casos generales y puede adaptarse a cualquier columna de destilación que trabaje con platos de rectificación y agotamiento. Para el proyecto en mención se utilizó como soporte el programa de simulación CHEMCad 5.1.3. que opera con lógica amigable y es capaz de realizar soluciones de problemas en ingeniería siendo descritas las siglas SYMSI, como "Sistema de modelado y simulación del sistema de la planta piloto de alcohol " y REY, por la autoría de uno de ellos; la referencia "08" corresponde al año realizado , denominando el nombre del software como "SYMSI REY - 08" [9]

**NOLOBE M (2011)**, en su tesis, para optar el título de Ingeniero Químico, Iquitos, 2011, elaboró un modelado y simulación de un reactor químico con convección forzada en la Región Loreto. La tesis trata sobre modelos para diseñar los intercambiadores de calor de tubos concéntricos y equipos de transferencia de masa de contacto continuo utilizando el programa de simulación para la industria del gas y petróleo.[10]

**MASS SOREGUI J. et al (2012)**, presentó un trabajo de tesis sobre simulación del proceso de obtención de biodiesel a partir de piñón blanco (*Jatropha curcas*), utilizando software chemcad, en la Región Loreto. Tesis, para optar el título de Ingeniero Químico. La nombrada tesis trata sobre la determinación por medio de la simulación, del rendimiento en la producción de biodiesel, en un medio catalítico básico, a partir del Piñón Blanco, empleando el simulador CHEMCAD Versión 6.2. esto permitió realizar estimados de producción, para un proceso a nivel industrial.[11]

**PÉREZ S. et al (2004)**, desarrolló un programa de simulación de procesos para el tratamiento de emisiones atmosféricas en la ciudad de Valencia. El artículo científico fue presentado en la universidad de Carabobo, Venezuela. En el se presenta el desarrollo de un programa para la simulación de procesos asociados al tratamiento de emisiones atmosféricas. El programa creado, denominado SIMTEGUC, utiliza un enfoque modular secuencial para la administración y control del flujo de la información durante la simulación. Fueron desarrollados los siguientes módulos de cálculo: ciclones, filtros de mangas, precipitadores electrostáticos, mezcladores y divisores de corrientes, unidades para el control y promoción de la convergencia en procesos con reciclaje, adsorbedores y lavadores de partículas. Todos los módulos desarrollados fueron validados individualmente mediante estudio comparativo con los resultados aportados por la simulación del mismo caso mediante un programa comercial, observándose una desviación

menor al 7%. Se concluye que el programa desarrollado entrega buenos resultados y se puede extender su uso a otras áreas. [12]

**NAVARRO F. (2004).** Desarrolló la utilización de simuladores en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. En el trabajo se analiza la posibilidad de la utilización de Simuladores de Plantas de Tratamiento, como herramienta para el diseño y/o verificación de sistemas de tratamiento biológico de efluentes industriales. La simulación de la planta se realiza sobre la base de los componentes principales que aportan a la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO) del efluente y su cinética de degradación. Los resultados obtenidos, sobre la aplicación del simulador a una planta existente de tratamiento según la técnica de barros activados, demuestran que puede existir un buen grado de acercamiento entre la planta real y la estimación, si son seleccionados correctamente los parámetros que definen la operación. Información adicional como parámetros de calidad ambiental del efluente tratado y costos asociados a dicho tratamiento completan el análisis efectuado.[13]

**VELÁSQUEZ M. (2013),** en su tesis para optar el grado de magister, trata sobre el estudio de parámetros para la obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas de algodón y su análisis económico y ambiental, haciendo uso del Superpro Designer en la región Loreto. El estudio trata de demostrar la factibilidad técnica económica y ambiental mediante diversos ensayos experimentales con el software aplicativo para el procesamiento en la obtención de biodiesel, concluyendo con la versatilidad, la robustez del software y la amigabilidad con el usuario.[14]

**DÍAZ Arturo,** en el 2013, en la plataforma de LabVIEW, desarrolló un software aplicativo para simular la radiación solar extraterrestre y la irradiación solar, mediante modelos matemáticos de Kleim y Bristow Campbell respectivamente.

El software para la radiación solar, contiene parámetros relevantes como la latitud del lugar y el día del año, con esta información, el software determina la declinación solar, el ángulo solar y la radiación solar por encima de la exósfera que contiene un nivel de trazas de gases atmosféricos.

El software para la irradiación solar hace uso de los valores de la radiación solar extraterrestre, y en el modelo matemático de Bristow Campbell introduce los valores de temperatura mínima y máxima, además de los coeficientes empíricos como; el factor de la nubosidad, la altitud y la contaminación del lugar, con el cual, es posible conocer la irradiación solar en la superficie terrestre de un lugar específico. [15]

#### **1.5.0.0. JUSTIFICACIÓN**

Una de las razones del estudio de investigación en la presente tesis es, la importancia del agua, por ser una sustancia indispensable para la vida en la ciudad, la Amazonía y el planeta. Su importancia radica en la búsqueda de métodos, técnicas, herramientas y procedimientos para recuperarla, reutilizarla y reciclarla.

Las aguas residuales sean municipales o industriales requieren la atención primordial en el quehacer de las actividades humanas. El agua contaminada con componentes orgánicos e inorgánicos es dañina para el medio ambiente y la salud de la población, destruye el ecosistema acuático, de inicio al fitoplancton y el zooplancton y como consecuencia, a los peces, las aves, la flora y la fauna; por esta otra razón, es necesario cuidarla, tratarla y estudiarla para su recuperación a fin de disminuir el impacto negativo en el ambiente.

En la ciudad de Iquitos se ha construido una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar un volumen operativo aproximado de 600 litros/segundo, con la finalidad de recuperarla al disminuir la carga contaminante que lleva consigo, mediante procesos de oxidación, clarificación y eliminación de bacterias, para luego reponerla como descarga en el río Nanay, con un contenido por debajo de los límites máximos permisibles.

Otra de las razones es, hacer uso de una nueva herramienta en Ingeniería para procesos, como es el software Superpro Designer para un volumen similar de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Iquitos, simulando a fin de contar con una propuesta de estudio para entender y comprender los sistemas de tratamientos de aguas residuales y que además, sirva como una nueva contribución académica ya que actualmente se realizó simulaciones pero con otras herramientas de estudio como el CHENCAD y el HYSSIS pero ninguna con el Superpro Designer como es nuestro caso.

#### **1.6.0.0. HIPÓTESIS**

La simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Iquitos y su análisis técnico - económico - ambiental mediante el uso de Super pro Designer V6, permitirá una mayor comprensión de estudios de un PTAR.

#### **1.7.0.0. OBJETIVOS GENERALES**

Simular una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Iquitos y su análisis técnico - económico - ambiental mediante el uso del Super pro Designer V6, 2014 para una mayor comprensión de estudios de un PTAR

### **1.7.1.0. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Acopiar información acerca de los parámetros técnicos de las aguas residuales como: caudal, pH, temperatura, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), demanda química de Oxígeno (DQO), coliformes fecales
2. Analizar el acopio de la información económica como son: capital de inversión (S/), costos operativos (S/año), velocidad de producción (S/ MP/año, costo por unidad de producción (S/kg de MP), ingresos (S/año), margen bruto (%), retorno de la inversión (años), tasa interna de retorno (%), valor neto presente.
3. Analizar el acopio de la información ambiental como son: los residuos sólidos, residuos líquidos, residuos gaseosos (emisiones) e índices de contaminación.
4. Elaborar el sistema de simulación de la planta de tratamiento de aguas residuales alternativo al PTAR-Iquitos, mediante el uso del software Super pro Designer V6.
5. Simular la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Iquitos.
6. Analizar los reportes técnicos, económicos y ambientales del sistema de simulación del PTAR alternativo.



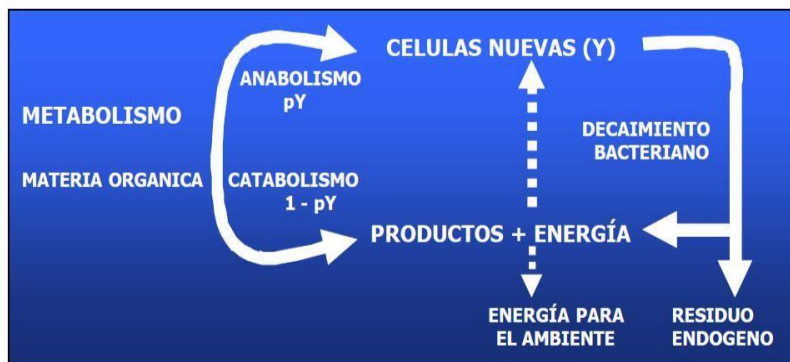
## CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

### 2.1.0.0. AGUAS RESIDUALES

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos. El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo según Van Hanndel 1994, [16] consiste en el uso de las bacterias para descomponer la materia orgánica y ser fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es trasformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado “**Catabolismo**”. Otro proceso denominado “**Anabolismo ó Síntesis**” ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular (ver esquema 01).

Esquema 01 Metabolismo bacteriano



Fuente: Representación Esquemática del Metabolismo Bacteriano (Van Haandel, 1994)

El anabolismo es un proceso que consume energía y solamente es viable si el catabolismo está ocurriendo para proporcionarle la energía necesaria para la síntesis celular. Por otro lado, el catabolismo sólo es posible si existe la presencia de una población bacteriana viva.

El catabolismo se divide en dos procesos fundamentalmente diferentes: (1) Catabolismo Oxidativo y (2) Catabolismo Fermentativo. El catabolismo oxidativo es una reacción redox, donde la materia orgánica es el reductor que es oxidada por un oxidante. En la práctica ese oxidante puede ser el oxígeno, nitrato o sulfato. El catabolismo fermentativo se caracteriza por el hecho de no haber presencia de un oxidante: el proceso resulta en un reordenamiento de los electrones de la molécula fermentada de un modo tal que se forman como mínimo dos productos. Generalmente son necesarias varias fermentaciones secuenciales para que se formen productos estabilizados.

### 2.1.1.0. DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas [17].

Esquema 02 Degradación de la materia biológica



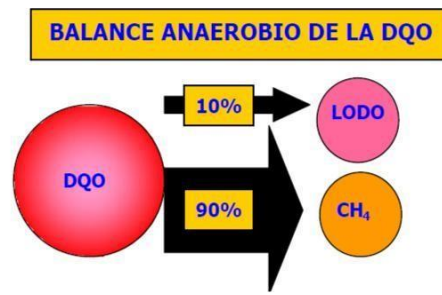
Fuente: Representación Esquemática de la degradación biológica. (Díaz-Báez, 2002).

La digestión anaerobia es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes.

**Balance:** En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la demanda química de Oxígeno (DQO), la cual

mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio [18].

Figura 03 Balance anaerobio de la DQO



Fuente: [www.uasb.org](http://www.uasb.org).

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, sólo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

En la degradación anaerobia de la materia orgánica se requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación:

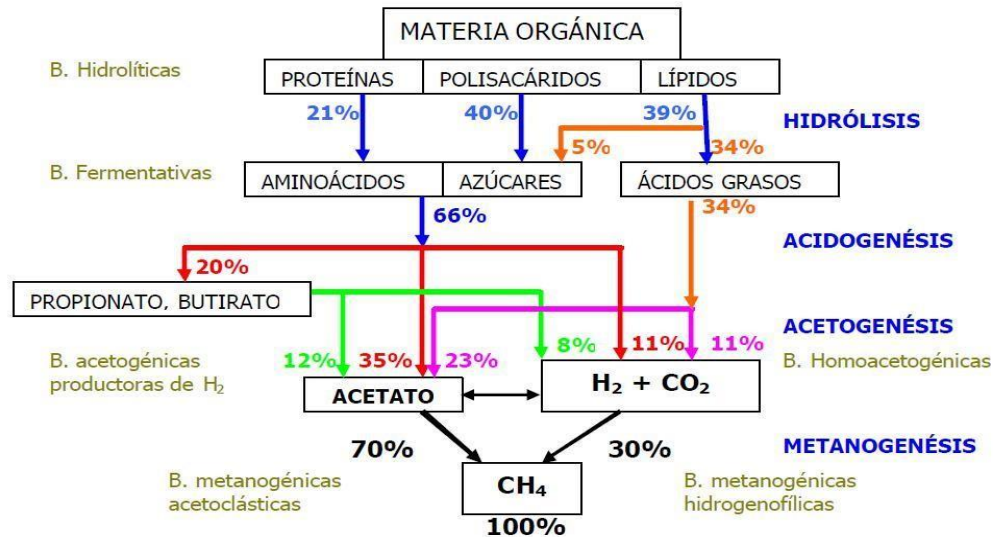
#### 1. Hidrólisis. Grupo I: bacterias hidrolíticas

2. Acidogénesis. Grupo I: bacterias fermentativas
3. Acetogénesis. Grupo II: bacterias acetogénicas
4. Metanogénesis. Grupo III: bacterias metanogénicas

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como "bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno".

Finalmente las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO<sub>2</sub>, o reducen el CO<sub>2</sub> a metano (ver Esquema 3). Estas Transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usados como sustratos del grupo metanogénico [19]

### Esquema 03 Etapas de la Digestión Anaerobia



Fuente: Madigan, 1997, van Haandel, 1994

Deben ser tenidos en cuenta dos puntos importantes, con respecto a los diferentes procesos que ocurren durante la digestión anaerobia de la materia orgánica [20,21]:

1. En el esquema 03 se observa que solamente cerca del 30% de la materia orgánica afluente es convertida a metano por la vía hidrogenofílica, por lo tanto una condición necesaria para obtener una óptima remoción de la materia orgánica en un sistema anaerobio, es que la metanogénesis acetoclástica se desarrolle eficientemente.
2. La fermentación ácida tiende a bajar el pH, debido a la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs) y otros productos intermediarios, mientras que la metanogénesis sólo se desarrolla cuando el pH está cercano al neutro. Por lo tanto, si por alguna razón la tasa de remoción de AGVs a través de la metanogénesis no acompaña a la tasa de producción de AGVs, puede surgir una situación de inestabilidad: baja significativamente el pH del sistema, causando la inhibición de las bacterias metanogénicas. Esta "Acidificación" del sistema es una de las principales causas de falla operacional en los reactores anaerobios. Lo anterior puede ser evitado cuando se

garantiza un equilibrio entre la fermentación ácida y la fermentación metanogénica, a través de mantener una alta capacidad metanogénica y una buena capacidad buffer en el sistema [22]

En la Tabla 1, se consignan las principales reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en el proceso de la digestión anaerobia [23]

Tabla 1. Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia de la Materia Orgánica

TIPO DE REACCIÓN	ECUACIÓN
Fermentación de glucosa a acetato	Glucosa + 4H <sub>2</sub> O ? CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 4H <sub>2</sub>
Fermentación de glucosa a butirato	Glucosa + 2H <sub>2</sub> O ? C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 3H <sup>+</sup> + 2H <sub>2</sub>
Fermentación del butirato a acetato e H <sub>2</sub>	Butirato + 2H <sub>2</sub> O ? 2CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> + H <sub>2</sub>
Fermentación del propionato a acetato	Propionato + 3H <sub>2</sub> ? CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> + H <sub>2</sub>
Acetogénesis a partir de H <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> + 4H <sub>2</sub> ? CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O
Metanogénesis a partir del CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sub>2</sub> ? CH <sub>4</sub> + 3H <sub>2</sub> O
Metanogénesis a partir del acetato	Acetato + H <sub>2</sub> O ? CH <sub>4</sub> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup>

Fuente: Zinder, 1984

## 2.1.2.0 MICROBIOLOGÍA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

### Grupo I: Bacterias Hidrolíticas – Fermentativas

Las bacterias que llevan a cabo las reacciones de hidrólisis y acidogénesis son anaerobias facultativas y los géneros más frecuentes que participan son los miembros de la familia Enterobacteriaceae , además los géneros Bacillus, Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides, Micrococcus y Clostridium. Las bacterias con actividad proteolítica son en su mayoría especies de los géneros Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium y Staphylococcus. Bacterias como Anaerovibrio lipolytica con actividad lipolítica han sido aisladas del rumen; igualmente la Butyrovibrio fibrisolvens hidroliza fosfolípidos cuando crece con azúcares fermentables como fuente de carbono.

## **Grupo II: Bacterias Acetogénicas**

Para que tenga lugar una eficiente metanogénesis, los productos de fermentación como el propionato y el butirato deben ser oxidados a acetato,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$ , esta oxidación es llevada a cabo por un grupo denominado "organismos acetógenos productores obligados de hidrógeno (OHPA)", mediante un proceso conocido como acetogénesis.

Aunque la mayoría de este tipo de reacciones consume energía, en ambientes anaerobios donde la energía disponible es baja, el acoplamiento de la actividad de las bacterias OHPA con las bacterias consumidoras de  $\text{H}_2$  (metanógenos hidrogenofílicos) permite un balance energético favorable. Este último grupo, consume el hidrógeno generado por las OHPA manteniendo una presión parcial de  $\text{H}_2$  a un nivel adecuado para que termodinámicamente pueda darse la conversión de los AGV a acetato e hidrógeno. Esta asociación se conoce como "relación sintrófica" o "transferencia interespecífica de hidrógeno". Solamente un limitado número de especies del grupo OHPA han sido aisladas; probablemente existan más, pero aún no son conocidas.

Dentro de las especies aisladas se pueden mencionar:

Syntrophomonas sapovorans

Syntrophobacter wolinii

Syntromonas wolfei

Syntrophospara bryantii

Syntrophus buswellii

Dentro del grupo de acetógenos existe un grupo de bacterias conocidas como "bacterias homoacetogénicas" las cuales son anaerobias obligadas y utilizan el  $\text{CO}_2$ , como aceptor final de electrones, produciendo acetato como producto único de la

fermentación anaerobia. Aunque este grupo no es un grupo taxonómico definido, en él se incluyen una variedad de bacterias Gram (+) y Gram (-) formadoras de esporas como: Clostridium aceticum, Clostridium formicoaceticum y Acetobacterium woodii [24]

### **Grupo III: Bacterias Metanogénicas**

Las bacterias metanogénicas pertenecen al grupo actualmente conocido como Archaea, cuyos miembros presentan características diferentes a las encontradas en Bacteria. Estas características están relacionadas fundamentalmente con la composición química de algunas estructuras celulares. Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas y producen metano como principal producto del metabolismo energético. A pesar de los requerimientos estrictos de anaerobiosis obligada y el metabolismo especializado de este grupo, estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza. La actividad metanogénica es mucho mayor en ecosistemas de aguas dulces y terrestres, la menor actividad detectada en océanos, se debe a la alta concentración de sulfatos, condición que favorece la reducción de sulfato en sedimentos marinos [25]

Con base en el tipo de sustrato utilizado, las bacterias metanogénicas se subdividen en tres grupos:

Grupo 1: utiliza como fuente de energía  $H_2$ , formando ciertos alcoholes, el  $CO_2$  es el aceptor final de electrones el cual es reducido a metano;

Grupo 2: utiliza una amplia variedad de compuestos que tienen el grupo metilo. Algunas de las moléculas son oxidadas a  $CO_2$ , el cual actúa como aceptor final de electrones y se reduce directamente a metano;

Grupo 3: aunque la mayor parte del metano que se genera en la naturaleza proviene del rompimiento del acetato, la habilidad de catabolizar este sustrato está limitada a

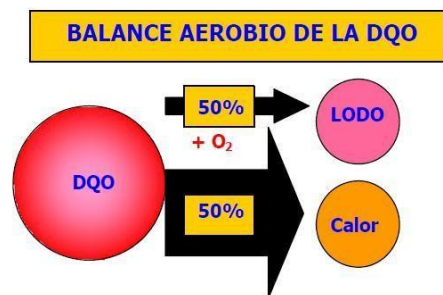


los géneros: Methanosarcina y Methanosaeta (Methanotrix). Es frecuente encontrar en reactores anaerobios, una competencia por el acetato entre estos dos géneros, sin embargo, las bajas concentraciones de acetato que usualmente predominan al interior de los reactores favorece el crecimiento de las Methanosaeta [26]

### 2.1.3.0. DIGESTIÓN AEROBIO

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado (ver figura 04). [27]

Figura 04 Balance aerobio de la DQO



Fuente: [www.uasb.org](http://www.uasb.org)

### 2.1.4.0. SULFATO REDUCCIÓN

El sulfato reducción [28], es el proceso durante el cual el sulfato se reduce a sulfuro de hidrógeno, mediante la participación de las bacterias sulfato reductoras (BSR) (ver figura 04).

#### Esquema 04. Reducción Biológica del Sulfato

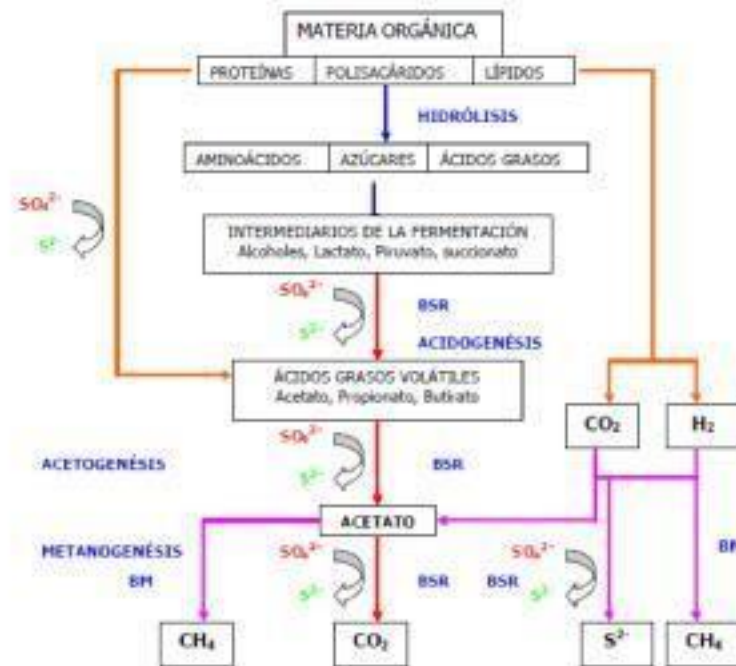


Fuente: Gibson, 1990

Durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, puede ocurrir que las BSR utilicen el sulfato como aceptor de electrones, aunque pueden utilizar también compuestos como el tiosulfato, el tetrionato y el azufre elemental. Los donadores de electrones más utilizados por las BSR son H<sub>2</sub>, lactato, piruvato entre otros.

Las BSR son anaerobios estrictos, ampliamente distribuidas en ambientes acuáticos y terrestres, cumplen un importante papel en las etapas finales de la degradación de la materia orgánica, especialmente en la remoción de los sulfatos presentes en el afluente. Pueden crecer en presencia o ausencia de sulfatos, utilizando vías metabólicas diferentes; una fermentativa y la otra oxidativa [29] (ver Esquema 05)

### Esquema 05 Sulfato Reducción en la Degradación de la Materia



Fuente: Gibson, 1990

En presencia de sulfatos las BSR compiten con las bacterias metanogénicas (BM) por sustratos comunes como: formato e hidrógeno, con las bacterias acetogénicas (BA) por componentes como propionato y butirato. Esto no significa que la metanogénesis y la sulfato reducción sean excluyentes, pues pueden ocurrir simultáneamente cuando el metano se genera a partir del metanol y/o aminas metiladas, sustratos por los cuales las BSR tienen poca afinidad. Los reactores anaerobios operan a valores umbrales para el consumo de hidrógeno por la población metanogénica. Sin embargo, el valor umbral de las BSR es más bajo, por lo que en presencia de sulfato, el hidrógeno es consumido principalmente por las BSR. Esta población tiene ventajas cinéticas frente a las BM que favorecen su proliferación al interior de los reactores. En reactores anaerobios con alta concentración de sulfato, las BSR también compiten con las BA por sustratos como propionato y butirato, por lo que la relación sintrófica entre las BM y BA para la oxidación de estos compuestos es superada por las BSR. En ausencia de sulfato, las BSR pueden constituir el 15% del total de la biomasa presente en el reactor anaerobio. Bajo estas

condiciones fermentan sustratos como: piruvato, lactato, etanol, fructuosa, propanol y acetato entre otros, y crecen como organismos acetogénicos [30]

En general, durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, la sulfato reducción puede interferir con la metanogénesis [31], generando problemas como:

1. Competencia entre las BSR y las BM, por sustratos comunes y la consecuente disminución en la producción de metano;
2. Inhibición de varios grupos bacterianos por la presencia de H<sub>2</sub>S;
3. Toxicidad generada por el H<sub>2</sub>S, malos olores y corrosión. A pesar de los problemas que ocasiona la sulfato reducción al interior de los reactores anaerobios, este proceso puede presentar algunas ventajas:

1. Contribuye a mantener un bajo potencial de óxido-reducción en el sistema;
2. Constituye un método biotecnológico para la remoción de sulfato;
3. Los complejos Metal-S<sub>2</sub>- tienen baja solubilidad, propiedad que puede ser utilizada para la precipitación de metales pesados como Co, Ni, Pb, y Zn.

## **2.2.0 LAS AGUAS RESIDUALES**

La FAO (2009), define aguas residuales como: Agua que no tiene un valor inmediato para algún propósito por el que se produjo, debido a su calidad y cantidad en el momento en que se dispone de ella [32] y se conocen dos tipos: domésticas e industriales.

### **2.2.1. LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Son las aguas residuales producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y

similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.

### **2.2.2.0. LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

Son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria.

### **2.2.3.0. TIPOS DE CONTAMINANTES**

#### **a) Sustancias químicas**

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

Aniones y cationes inorgánicos y compuestos orgánicos

#### **b) Características bacteriológicas**

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las

excretas con el propósito de evitar una contaminación biológica al cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Éstos son, entre otros:

Coliformes totales

Coliformes fecales

Salmonellas

Virus

### **c) Materia en suspensión y materia disuelta**

A efectos del tratamiento, la gran división es entre materia en suspensión y materia disuelta.

La materia en suspensión se separa por tratamientos fisicoquímicos, variantes de la sedimentación y filtración. En el caso de la materia suspendida sólida se trata de separaciones sólido - líquido (S-L) por gravedad o medios filtrantes (rejilla) y, en el caso de la materia aceitosa, se emplea la separación líquido-líquido (L-L), habitualmente por flotación.

La materia disuelta puede ser orgánica, en cuyo caso el método más extendido es su insolubilización como material celular (y se convierte en un caso de separación S-L) o inorgánica, en cuyo caso se deben emplear caros tratamientos fisicoquímicos como la ósmosis inversa.

### **d) Principales parámetros**

Los parámetros característicos, mencionados son: la temperatura, pH, sólidos en suspensión totales (SST) o materia orgánica valorada como demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (a veces TOC), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y nitrógeno amoniacal y nitratos

También hay otros parámetros a tener en cuenta como fósforo total, nitritos, sulfuros, sólidos disueltos.

### **2.3.0. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

El proceso de autodepuración es inherente a los cuerpos de agua, ocurre gracias a la presencia de diversos microorganismos como bacterias y algas, que descomponen los desechos, metabolizándolos y transformándolos en sustancias simples tales como dióxido de carbono, nitrógeno, entre otros, además de ciertos microorganismos que absorben algunas sustancias inorgánicas.

Es por esto que, al arrojar sustancias extrañas a los cuerpos de agua, si éstas se encuentran dentro de ciertas concentraciones límites, se inicia el proceso de autodepuración, este proceso se aplica a sustancias orgánicas como detergentes, fenoles, ciertas sustancias inorgánicas, entre otros. De lo contrario, si son vertidos que pasan las concentraciones límites en el cuerpo de agua, es necesario un tratamiento [33].

El diseño eficiente y económico de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal ( $m^3/s$ ), el uso final del producto final (agua tratada), el área disponible para la instalación, la viabilidad económica, características meteorológicas (temperatura, precipitación). En tal sentido, teniendo en mente que la solución tecnológica más adecuada es aquella que optimiza la eficiencia técnica en la forma más simple y menos costosa, la tecnología debe hacer uso de los recursos humanos y materiales disponibles en el país. Asimismo, cabe señalar que la selección de los procesos y/o el tipo de planta serán diferentes dependiendo de cada caso específico.

Sin embargo, el proceso usual para el tratamiento de aguas residuales domésticas por lo general se divide en las siguientes etapas:

- Pre tratamiento,
- Tratamiento primario o físico,
- Tratamiento secundario o biológico y
- Tratamiento terciario que normalmente implica una cloración.

### **2.3.1.1. PRE TRATAMIENTO**

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pre tratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

En el pre tratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes.

#### **a) Desbaste**

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en:

- Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10-25 mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50-100 mm. En cuanto a los barrotes, éstos han de tener unos espesores mínimos según sea:
- Reja de gruesos: entre 12-25 mm.
- Reja de finos: entre 6-12 mm. También tenemos que distinguir entre los tipos de limpieza de rejas igual para finos que para gruesos:
- Rejas de limpieza manual
- Rejas de limpieza automática



## **b) Tamizado**

Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. Según las dimensiones de los orificios de paso del tamiz, se distingue entre:

- **Macrotamizado:** Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm.. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas,... de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- **Microtamizado:** Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas residuales pre-tratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales:
- Cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.

## **c) Desarenado**

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

Los desarenadores se diseñan para eliminar partículas de arenas de tamaño superior a 0,200 mm y peso específico medio 2,65, obteniéndose un porcentaje de eliminación del 90%. Si el peso específico de la arena es bastante menor de 2,65, deben usarse velocidades de sedimentación inferiores a las anteriores.

#### **d) Desaceitado y desengrasado**

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad. Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios al ir provistos éstos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes y la recogida es deficitaria. Si se hacen desengrasado y desarenado junto en un mismo recinto, es necesario crear una zona de reposo donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y las arenas sedimentan en el fondo y son eliminadas por uno de los métodos que desarrollamos en el apartado anterior.

### **2.3.2.0. TRATAMIENTO PRIMARIO**

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos flocúlenos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación.

Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están:

#### **a) Sedimentación**

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los

sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua residual los sólidos en suspensión presentes en ella.

Existe la sedimentación floculante o llamada también sedimentación de partículas aglomerables. Se presentan cuando la velocidad de asentamiento de las partículas aumenta a medida que descienden hacia el fondo del tanque. Los aumentos en la velocidad de sedimentación se deben a que las partículas incrementan su tamaño por acción de la floculación que ocurre en el tanque. Esta floculación puede deberse a la acción de barrido que ejercen algunas partículas, o a corrientes de densidad o turbulencia.

Asimismo, se tiene la sedimentación primaria, que es uno de los procesos más utilizados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, bien sea como tratamiento único, o bien como proceso de tratamiento anterior o previo al tratamiento biológico propiamente dicho. El objetivo fundamental de la sedimentación primaria es remover de las aguas residuales aquella fracción de los sólidos que es sedimentable, además de la carga orgánica asociada con dichos sólidos. La base o criterio práctico de diseño es la carga superficial, la cual usualmente se expresa en términos de  $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$  o  $\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ , o sea el resultado de dividir el caudal en  $\text{m}^3/\text{día}$  o  $\text{m}^3/\text{hr}$  por la superficie total del tanque de sedimentación en metros cuadrados. Se recomienda que la carga superficial de un sedimentador primario para aguas residuales domésticas no exceda el valor de  $24 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$ , cuando el caudal de tratamiento es inferior a  $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ . Si el caudal de aguas residuales a tratar es mucho mayor que  $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ , entonces es posible utilizar cargas superficiales del orden de los  $30\text{-}32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$  y aun mayores.

Para el diseño se debe considerar las zonas de entrada y de salida del tanque de sedimentación, la profundidad mínima que debe tener el tanque y sobre la forma y

tamaño que este debe tener. Además es preciso recordar que las variaciones bruscas en la temperatura del agua, así como las características de cada agua residual pueden afectar considerablemente la eficiencia del tanque en la remoción de sólidos sedimentables.

#### **b) Coagulación y Floculación.**

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los SS y de las partículas coloidales. Algunas veces existe la confusión entre estas dos por el hecho que frecuentemente ambas operaciones se realizan de forma simultánea. En ese sentido, se define a la coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración.

Por tanto, la Coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante.

Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de Hierro y Aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Sin embargo tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe ó Al y generar problemas. Entre los coagulantes más utilizados son: sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico,

La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde se almacenan las aguas residuales presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de flotación. El proceso

puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas residuales crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los siguientes: oxidantes, adsorbentes y sílice activa.

Los factores, que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan. Por otra parte el pH es un factor prominente en el retiro de coloides.

### **c) Remoción de sólidos suspendidos. Tanques Imhoff**

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se llama tanques de doble cámara.

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando

a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado.

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conduce a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

#### **d) Digestión Primaria de Lodos**

En la decantación primaria y secundaria se producen lodos primarios o secundarios. Estos lodos están compuestos por agua y partículas sólidas. El agua se encuentra agregada o como agua capilar. Las proteínas hidrófilas absorben, por otra parte, moléculas de agua. La proporción del líquido es del 95-99%.

El volumen de lodos que se produce depende del tipo de tratamiento de las aguas residuales y de factores externos, como la climatología o el volumen residual tratado. Estos lodos pueden entrar rápidamente en putrefacción y producir malos olores. En tal sentido, la digestión de los lodos primarios requiere de sistemas que garanticen tiempos de detención de sólidos superiores a los 25 días cuando se tienen aguas residuales con temperaturas promedio entre los 20-25°C.

### **2.3.3.0 TRATAMIENTO SECUNDARIO.**

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, anteriormente mencionado, que ocurre naturalmente.

La aplicación de éste en aguas servidas, previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua.

### **2.3.4.0 TRATAMIENTO TERCIARIO**

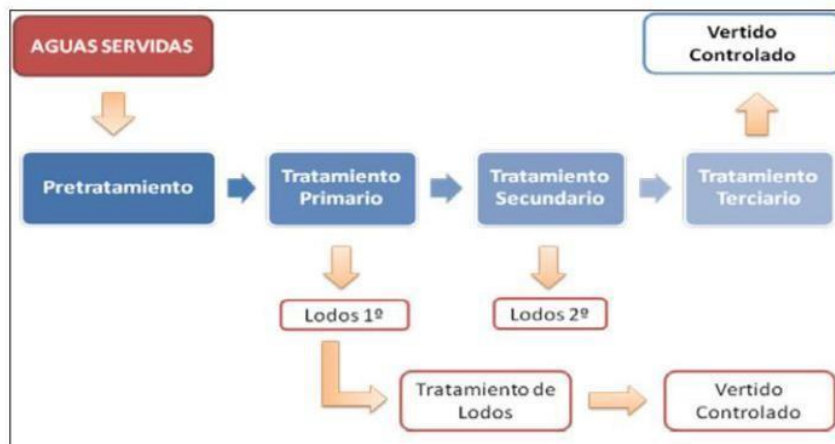
Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea.

En el tratamiento de aguas servidas, es importante tener en cuenta el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos, tienen un valor económico cuantificado al ocasionar daños al medio ambiente.

Para estabilizar estos lodos, es decir, destruir las bacterias patógenas y volverlos inocuos al medio ambiente, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación-floculación durante el tratamiento secundario. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y eliminar el agua mediante exposición al sol, filtros de arena, filtros al vacío o centrifuga. Sin embargo, éstas técnicas poseen costos elevados y problemas técnicos.

El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos, incinerarlo, o lo más deseable, usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo [34].

Figura 05. Secuencia completa de tratamientos de aguas residuales



Elaborado por FONAM (2010)



<b>Cuadro N° 02 Sumario de Otros Procesos Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales</b>		
<b>Procesos</b>	<b>Aplicación Común</b>	<b>Cambios Principales en el Aspecto de Calidad</b>
<b>Separación Por Gravedad</b>		
Sedimentación Simple	Desarenado de aguas residuales crudas.	Remoción de sólidos en suspensión no transportables a una velocidad de 30 cm/s.
	Tratamiento primario con o sin remoción de natas.	25-40% reducción de DBO 40-70% reducción de sólidos en suspensión 50% reducción de turbiedad 25-75% reducción de bacterias 2% reducción de detergentes (Sal)
	Concentración de lodo activado de retorno en tratamiento secundario.	Concentra el lodo al 20-50% de su volumen original. Concentra el lodo de 2-10 veces su contenido de sólido original.
Sedimentación después de coagulación	Aguas residuales domésticas	50-85% reducción de DBO 40-80% reducción de bacterias 70-90% reducción de sólidos en suspensión
	Remoción de fosfatos de aguas residuales	Reduce fosfatos solubles a cantidades trazas
<b>Tratamiento Biológico</b>		
Filtros percoladores con sedimentación secundaria	Tratamiento secundario de aguas residuales domésticas	60-85% reducción de DBO 70-90% reducción de sólidos en suspensión 90-95% reducción de bacterias
Lodos activados con sedimentación secundaria	Tratamiento secundario de aguas residuales domésticas	70-98% reducción de DBO 85-98% reducción de sólidos en suspensión 95-98% reducción de bacterias
Laguna de estabilización.	Tratamiento de aguas residuales domésticas.	75-95% reducción de DBO 90-99% reducción de sólidos en suspensión 98-99% reducción de bacterias
<b>Aireación</b>		
Aeración con aire comprimido.	Desarenadores aireados, separación de grasa, separación de sólidos por flotación, tratamiento biológico, fraccionamiento de espuma, transferencia de oxígeno.	Mantener condiciones aeróbicas. Contrarrestar fuerza de gravedad en flotación.
Aeración mecánica superficial	Tratamiento biológico, mezcla de biomasa, transferencia de oxígeno	Mantener condiciones aeróbicas

## **2.4.0.0 TRATAMIENTOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS**

### **2.4.1.0 TRATAMIENTOS AERÓBICOS - EQUIPOS**

Para que la transformación biológica se haga efectiva y de manera eficiente, deben existir condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano, considerando la temperatura (30-40°C), el oxígeno disuelto (2,5 ppm), un pH (6,5-8,0) y salinidad (< a 3000 ppm). En estos procesos, actúan como sustancias inhibitoras las sustancias tóxicas, como metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y otros, así como cianuros, fenoles y aceites, por este motivo es necesario evitar la presencia de éstos.

La biomasa bacteriana puede estar soportada en un lecho fijo, como superficies inertes (rocas, escoria, material cerámico o plástico) o puede estar suspendida en el agua a tratar, siendo estos de lecho móvil o lecho fluidizado. En cada una de estas situaciones la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas o aerobias. Los procesos aerobios con biomasa suspendida que más se aplican son los de lagunas aireadas y los de lodos activados que se describen a continuación:

#### **2.4.1.3. LAGUNAS AIREADAS**

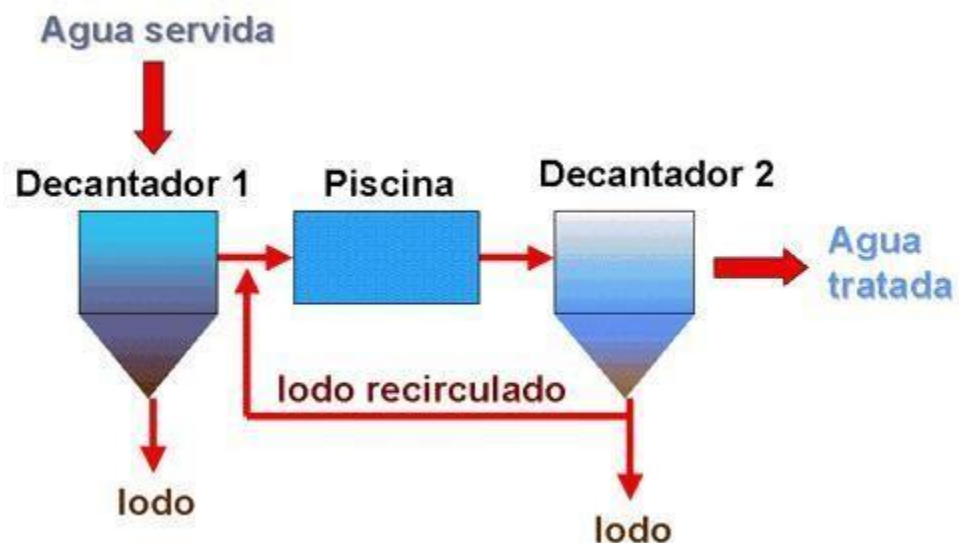
Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas. La

calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos.

#### 2.4.1.4. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

El agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas que se han desarrollado con anterioridad. A diferencia del anterior, la mezcla del agua servida, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la materia esté en suspensión y en constante contacto con oxígeno en el interior de piscinas de concreto armado. La materia orgánica degradada del agua servida flocula, por lo que luego se puede decantar. Una parte de la biomasa sedimentada se devuelve al tratamiento biológico, para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo. La siguiente imagen muestra un esquema de un proceso de lodos activados:

Figura 06 Proceso de lodos activos



Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas (6 horas), permitiendo tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo,

la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja: El agua tratada en un proceso de lodos activados o en lagunas aireadas puede servir para riego si previamente se somete a cloración para desinfectarla.

#### **2.4.3.0. TRATAMIENTO ANAEROBIO - EQUIPOS**

También podemos considerar en los procesos anaerobios que consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Ejemplos de tratamientos anaeróbicos son los tanques sépticos y los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento. Las ventajas principales serían que generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos).

Por otro lado, sus desventajas sería que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas.

En la última década del siglo XIX y comienzos del siglo XX, se desarrollaron varios sistemas muy conocidos: el tanque séptico y el tanque Imhoff en los cuales los sólidos presentes sedimentan para ser degradados anaerobiamente en el fondo del reactor. El diseño del tanque de digestión, en estos reactores, estaba ligado a la cámara de sedimentación: En estos siglos cronológicamente se desarrollaron los siguientes sistemas de digestión:

1876 Tanque séptico en EE.UU. (sin Patente)

1881 M. Louis Mouras - Francia: Digestor anaerobio "pozo automático Mouras" (la más simple, bella y mayor de todas las invenciones modernas)

1890 N.D. Scott-Moncrief - Inglaterra: Primera aplicación del filtro anaerobio

1892-93 A.C. Houston: Reducción del volumen de lodo a ser manejado

1895 Donald Cameron – Inglaterra: "Mouras Modificado" (Tanque séptico)

1904 William O Travis: Proceso en 2 etapas (cámaras de Hidrólisis o digestión separada de la cámara de sedimentación-baffles)

1905 Karl Imhoff - Alemania: Travis Modificado – El efluente no pasa por la cámara de digestión (Tanque Imhoff)

1914 EEUU: casi 75 ciudades implementaron Imhoff. En desarrollos posteriores, los sólidos acumulados eran bombeados a un digestor con calentamiento:

1927: Primer aparato de calentamiento de lodos (Alta eficiencia) ampliamente aplicado entre las dos guerras mundiales, en muchas ciudades el biogás producido era purificado y comprimido para ser utilizado como combustible de automotores:

1934 - Alemania: 600 mil habitantes utilizan Tanque séptico 6 500 000 habitantes utilizan Tanque Imhoff 5 600 000 habitantes utilizan Digestión de lodo separado.

Debido a la baja remoción de materia orgánica así como a los largos periodos de tiempo que requerían los sistemas anaerobios, a partir de 1945 empieza la utilización masiva de sistemas aerobios especialmente, lodos activados y filtros percoladores. La alta eficiencia de estos sistemas en cuanto a remoción de materia orgánica expresada en términos de DBO (90 a 95%), comparada con la obtenida en los procesos anaerobios (30 a 50%) hacían a estos últimos poco competitivos. En la actualidad, se reconoce que la baja eficiencia de estos sistemas se relaciona con un pobre contacto entre la masa bacteriana presente y el material suspendido y disuelto.[35].

A partir de la década de los años 70 fue plenamente reconocida la importancia del contacto entre el lodo y el sustrato, lo cual permitió el desarrollo de nuevas

configuraciones de reactores y demostró que estos procesos pueden alcanzar eficiencias de remoción de materia orgánica comparables con las de los procesos aerobios.

En términos generales, se registran tres generaciones de reactores anaerobios, las cuales se caracterizan porque en cada generación se reduce el tiempo de retención hidráulico (TRH) y mejora el contacto entre el lodo y el sustrato, lo cual significa menores volúmenes de reactor, costos más bajos, sistemas más estables y de más fácil operación [36,37]:

#### 2.4.3.1. REACTORES DE PRIMERA GENERACIÓN

El tiempo de retención celular es igual al TRH, por lo que se requieren TRH muy altos, existe un contacto inadecuado entre la biomasa y la materia orgánica - Lagunas Anaerobias, Tanque Séptico, Tanque Imhoff (ver figura 07 y 08)

Figura 07 Diseños de tanques de digestión anaeróbica

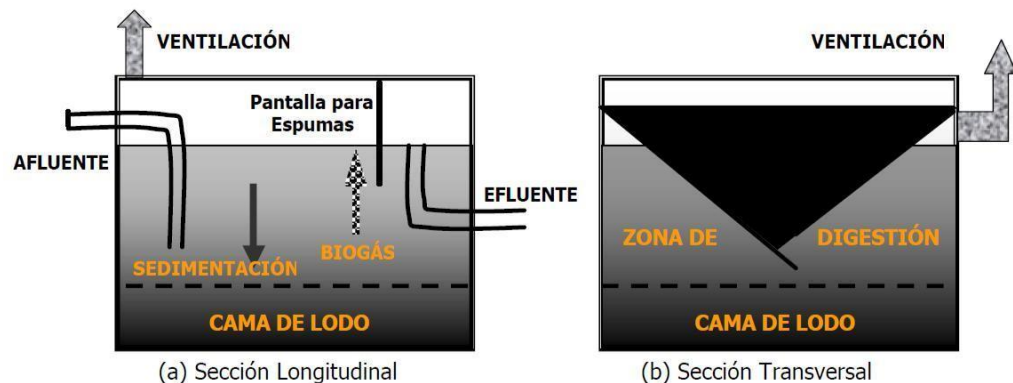
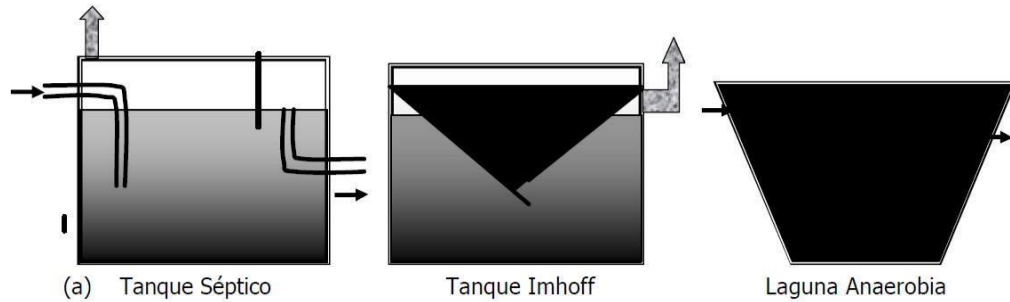


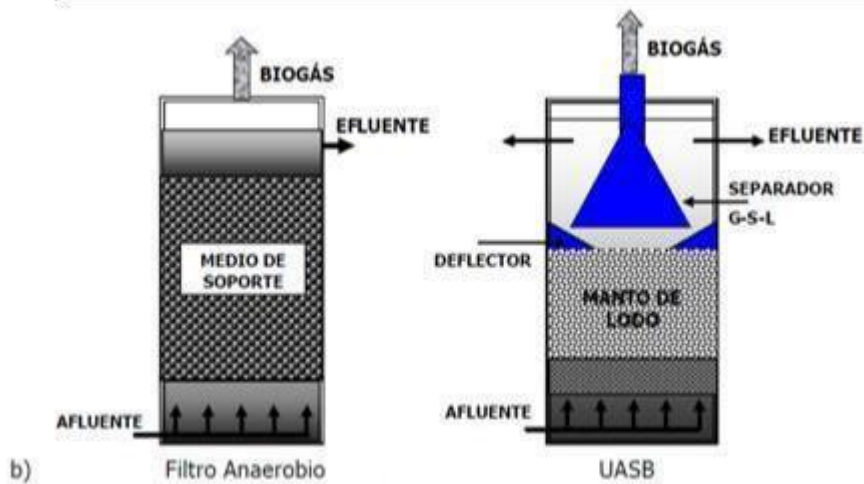
Figura 08 Diseños de sistemas anaerobios: Primera generación



### 2.4.3.2. REACTORES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Se caracterizan por el hecho de que tienen mecanismos para retención de los lodos, independizando el tiempo de retención celular del TRH. Los dos mecanismos más aplicados son: a) Inmovilización del lodo por adhesión a material sólido - Filtros anaerobios de flujo ascendente y descendente; b) separación líquido-sólido del efluente, con el retorno de los sólidos separados al reactor – RAFA o UASB, el cual usa un Sedimentador interno (ver figura 09).

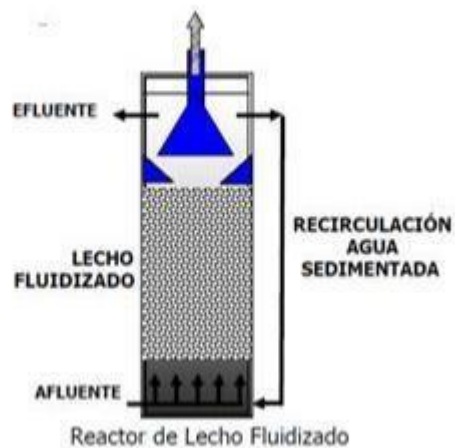
Figura 09 Diseños de sistemas anaerobios: Segunda generación



### 2.4.3.3. REACTORES DE TERCERA GENERACIÓN

Para optimizar el contacto entre el sustrato y la biomasa, esta se adhirió con partículas de arena, alúmina o plástico, las cuales se expanden - Reactores de lecho fluidizado o expandido (ver figura 10).

Figura 10 Diseño de un reactor de lecho fluidizado



### 2.5.0.0 NORMAS TÉCNICAS EN EL PERÚ.

La norma técnica SO-90 [38], establece que todos los estudios de factibilidad técnico económica son obligatorios para todas las ciudades con sistema de alcantarillado.

Para la caracterización de aguas residuales domésticas se realizará, para cada descarga importante, cinco campañas de medición y muestreo horario de 24 horas de duración y se determinará el caudal y temperatura en el campo. Las campañas deben efectuarse en días diferentes de la semana. A partir del muestreo horario se conformarán muestras compuestas; todas las muestras deberán ser preservadas de acuerdo a los métodos estándares para análisis de aguas residuales. En las muestras compuestas se determinará como mínimo los siguientes parámetros:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20°C; Demanda química de oxígeno (DQO);



Coliformes fecales y totales;  
Parásitos (principalmente nematodos intestinales);  
Sólidos totales y en suspensión incluido el componente volátil;  
Nitrógeno amoniacal y orgánico  
Sólidos sedimentables.

Se efectuará el análisis estadístico de los datos generados y si no son representativos, se procederá a ampliar las campañas de caracterización.

Para la determinación de caudales de las descargas se efectuarán como mínimo cinco campañas adicionales de medición horaria durante las 24 horas del día y en días que se consideren representativos. Con esos datos se procederá a determinar los caudales promedio y máximo horario representativos de cada descarga. Los caudales se relacionarán con la población contribuyente actual de cada descarga para determinar los correspondientes aportes per cápita de agua residual. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema de alcantarillado, se calcularán los caudales domésticos e industriales por separado. De ser posible se efectuarán mediciones para determinar la cantidad de agua de infiltración al sistema de alcantarillado y el aporte de conexiones ilícitas de drenaje pluvial. En sistemas de alcantarillado de tipo combinado deberá estudiarse el aporte pluvial.

En caso de sistemas nuevos se determinará el caudal medio de diseño tomando como base la población servida, las dotaciones de agua para consumo humano y los factores de contribución contenidos en la norma de redes de alcantarillado, considerándose además los caudales de infiltración y aportes industriales.

Para comunidades sin sistema de alcantarillado, la determinación de las características debe efectuarse calculando la masa de los parámetros más importantes, a partir de los aportes per cápita según se indica en el siguiente Cuadro 03.

### CUADRO 03

APORTES PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARÁMETROS	
- DBO 5 días, 20°C, g / (hab.d)	50
- Sólidos en suspensión, g / (hab.d)	90
- NH <sub>3</sub> - N como N, g / (hab.d)	8
- N Kjeldahl total como N, g / (hab.d)	12
- Fósforo total, g/(hab.d)	3
- Coliformes fecales. N° de bacterias / (hab.d)	2x10 <sup>11</sup>
- Salmonella Sp., N° de bacterias / (hab.d)	1x10 <sup>8</sup>
- Nematodos intes., N° de huevos / (hab.d)	4x10 <sup>5</sup>

En las comunidades en donde se haya realizado muestreo, se relacionará la masa de contaminantes de DBO, sólidos en suspensión y nutrientes, coliformes y parásitos con las poblaciones contribuyentes, para determinar el aporte per cápita de los parámetros indicados. El aporte per cápita doméstica e industrial se calculará por separado.

En ciudades con tanques sépticos se evaluará el volumen y masa de los diferentes parámetros del lodo de tanques sépticos que pueda ser descargado a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esta carga adicional será tomada en cuenta para el diseño de los procesos de la siguiente forma:

Para sistemas de lagunas de estabilización y zanjas de oxidación, la descarga será aceptada a la entrada de la planta.

Para otros tipos de plantas con tratamiento de lodos, la descarga será aceptada a la entrada del proceso de digestión o en los lechos de secado.

Con la información recolectada se determinarán las bases del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se considerará un horizonte de diseño (período de diseño) entre 20 y 30 años, el mismo que será debidamente justificado ante el organismo competente. Las bases de diseño consisten en determinar para condiciones actuales, futuras (final del período de diseño) e intermedias (cada cinco años) los valores de los siguientes parámetros.

Población total y servida por el sistema;

Caudales medios de origen doméstico, industrial y de infiltración al sistema de alcantarillado y drenaje pluvial;

Caudales máximo y mínimo horarios;

Aporte per cápita de aguas residuales domésticas;

Aporte per cápita de DBO, nitrógeno y sólidos en suspensión;

Masa de descarga de contaminantes, tales como: DBO, nitrógeno y sólidos.

Concentraciones de contaminantes como: DBO, DQO, sólidos en suspensión y coliformes en el agua residual.

El caudal medio de diseño se determinará sumando el caudal promedio de aguas residuales domésticas, más el caudal de efluentes industriales admitidos al sistema de alcantarillado y el caudal medio de infiltración. El caudal de aguas pluviales no será considerado para este caso. Los caudales en exceso provocados por el drenaje pluvial serán desviados antes del ingreso a la planta de tratamiento mediante estructuras de alivio.

En ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento. El tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga, deberá ser el tratamiento primario.

Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a la selección de los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos. Se dará especial consideración a la remoción de parásitos intestinales, en caso de requerirse. Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad, reduciendo al mínimo la mecanización y automatización de las unidades y evitando al máximo la importación de partes y equipos.

Para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los valores de la tabla 02 siguiente:

Tabla 02 Guía de valores para la remoción en el tratamiento de aguas residuales

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log <sub>10</sub> )	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

(a) Precedidos y seguidos de sedimentación

(b) Incluye laguna secundaria

(c) Dependiente del tipo de lagunas

(d) Seguidas de sedimentación

(e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

Una vez seleccionados los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos, se procederá al dimensionamiento de alternativas. En esta etapa se determinará el número de unidades de los procesos que se van a construir en las diferentes fases de implementación y otros componentes de la planta de tratamiento, como: tuberías, canales de interconexión, edificaciones para operación y control, arreglos exteriores, etc. Asimismo, se determinarán los rubros de operación y mantenimiento, como consumo de energía y personal necesario para las diferentes fases.

En el estudio de factibilidad técnico económica se analizarán las diferentes alternativas en relación con el tipo de tecnología: requerimientos del terreno, equipos, energía, necesidad de personal especializado para la operación, confiabilidad en operaciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. Se analizarán las condiciones en las que se admitirá el tratamiento de las aguas residuales industriales.

## **2.6.0.0 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN IQUITOS**

### **2.6.1.0 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El departamento de Loreto ocupa una superficie de 368 852 km<sup>2</sup>, que representa el 28,7 por ciento del territorio nacional; ubicándose en el primer lugar dentro del ranking de extensión por departamentos. Está ubicado en el extremo Nor-Oriental del Perú y posee 3 891 km<sup>2</sup> de fronteras internacionales con tres países: al Nor-Oeste con Ecuador, al Noreste con Colombia y al Este con Brasil; esta extensión representa el 38 por ciento del total de fronteras que tiene nuestro país y es una de las zonas de mayor vulnerabilidad geopolítica, debido a la irradiación cultural que recibe de localidades limítrofes como Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil).

Loreto está dividido en 7 provincias y 51 distritos, en los cuales habitan 705 de las 1786 comunidades indígenas existentes a nivel nacional.

El territorio departamental de Loreto pertenece al denominado "Llano Amazónico", cuya altitud más baja es de 61 msnm. y la más alta 220 msnm donde se pueden distinguir dos tipos de terrenos: aluvial y colinoso, en los cuales se identifican islas, playas, orillares, meandros, terrazas y colinas bajas [39].

**Figura 11. Mapa del Departamento de Loreto**



Fuente: Gobierno Regional de Loreto

Nota: Para más detalles: <http://maps.google.com/maps?hi=es&tab=wl>

### 2.6.2.0 POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA

Según las proyecciones del INEI al 30 de junio 2014 Loreto [40] cuenta con una población de 1028968 habitantes, la cual representa el 3,3 por ciento de la población nacional. Las provincias más pobladas son Maynas y Alto Amazonas con 547 459 y 119 257 habitantes, respectivamente. Por sexo, los hombres representaron el 52,2 por ciento y las mujeres el 47,8 por ciento de la población departamental. La tasa de crecimiento promedio anual de la población en los últimos 10 años (2004-2014) fue de 1,3 por ciento. En el distrito de Maynas (Iquitos) cuenta con una población de 547 549 Ver cuadro 04

Cuadro 04 Población proyectada de Loreto

Provincia	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población
Maynas	74 070	547 459
Alto Amazonas	18 484	119 257
Requena	52 553	73 632
Ucayali	30 248	72 726
Loreto	65 804	70 689
Mariscal Ramón Castilla	39 172	70 974
Datém del Marañón	42 593	62 578
Putumayo	45 928	11 653
<b>Total</b>	<b>368 852</b>	<b>1 028 968</b>

Proyectada al 30 junio 2014

Fuente: INEI - SIRTOD

Fig.12 Ubicación geográfica de la ciudad de Iquitos



### 2.6.3.0 CLIMA

En Loreto el clima es cálido, húmedo y lluvioso, con una temperatura promedio anual mínima de 22°C y máxima de 32°C, variando excepcionalmente a un mínimo de 17°C algunos días entre junio y julio, y a un máximo de 36°C entre octubre y enero. La

humedad relativa del aire marca 84 por ciento, con ligeras variaciones, y la precipitación pluvial promedio está entre los 2 000 y 3 000 mm anuales.

#### 2.6.4.0 SUELO

Geológicamente, la ciudad está asentada en una formación de origen terciario superior-cuaternario conformada litológicamente por lutitas gris oscuras, poco consolidadas, con restos de flora y fauna, y con numerosos lentes de arena blanca de abundante silicio; los suelos residuales son arenosos, arcillosos y de profundidad variable. Fisiográficamente, es un paisaje calinoso debido a las ondulaciones del suelo provocado por la erosión pluvial.

#### 2.6.5.0 RIESGOS NATURALES

El principal riesgo natural que sufre son las inundaciones. El río Amazonas tiene características hidrológicas siguientes:

<b>Tabla 03 Características hidrológicas promedio 1969-2012</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Cota</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha</b>
Máximo	118,97	msnm	Abril 2012
Normal	112,08	msnm	
Mínimo	105,38	msnm	Octubre 2010
Alerta roja	117,00	msnm	

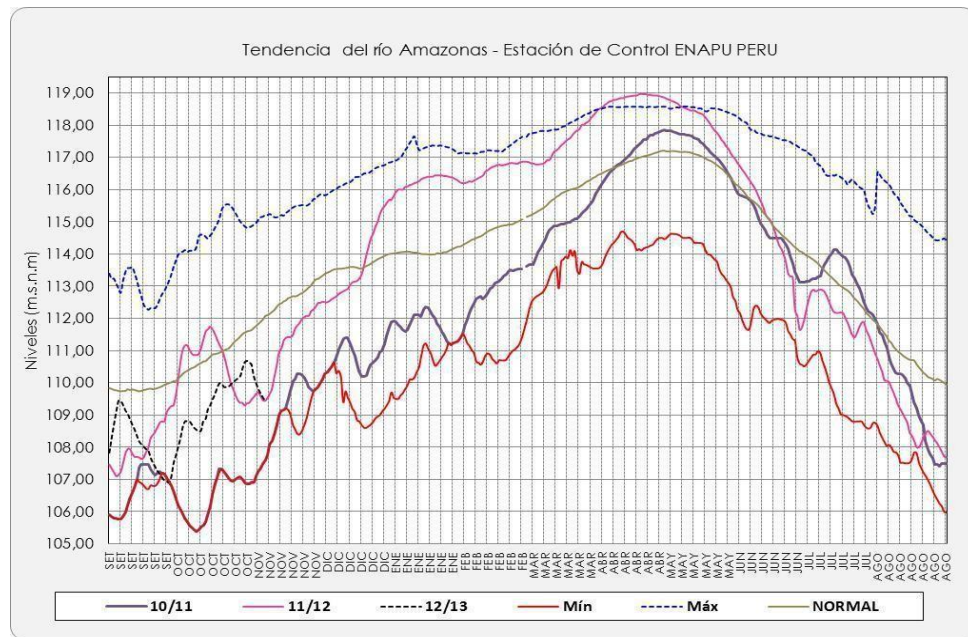
Fuente: SENAMHI – Informe técnico 010 – 2012 [41]

El año 2012, ocurrieron las inundaciones más importantes en Iquitos que alertaron a la población y afectaron zonas ribereñas y varias poblaciones de su área metropolitana, que tiene una geografía inundable y pluviosa. Las inundaciones de 2012 fueron consideradas como el desastre natural más histórico para Iquitos hasta la fecha. El clima húmedo en Loreto llevó aguaceros y lloviznas, causando daños e inundaciones al departamento de Loreto desde noviembre de 2011. El clima lluvioso continuó hasta inicios de 2012, y aumentó el nivel de agua en el río Amazonas —extensa corriente de



agua que alimenta la mayoría de los afluentes loretanos— hasta 118.97 m.s.n.m. Desde febrero y marzo, varios pueblos están afectados (19,209 familias damnificadas y 18,400 afectadas), 26 mil hectáreas de cultivo están inundados y el nivel del agua alcanzó calles costeras de Iquitos. El 24 de abril de 2012, la creciente perdió intensidad, e inició la primera etapa de vaciante.

Gráfico 02 Registro histórico de la tendencia del río Amazonas



Otros riesgos naturales son las olas de calor que pueden llegar a más de 37° C con una sensación térmica de 45° C que es provocado por la poca humedad en días despejados.<sup>54</sup>

Las olas de frío son también momentos climáticos curiosos en el temperatura iquiteña: el aire frío procedente del extremo sur del continente movido por la dinámica de la atmósfera, llega a la ciudad y provoca un descenso de la temperatura, lluvias moderadas y tormentas eléctricas. [42] Los vientos alisios también llegan a provocar los ventarrones que llega a 60 km/h.[43] En octubre de 2012, Iquitos experimentó temperaturas elevadas y tormentas eléctricas intensas.[44]

Los sismos en la ciudad son extremadamente raros, y si los hay, son profundamente subterráneos, pero puede provocar breve histeria porque la ciudad no está estrictamente preparada para eso. Iquitos se encuentra en la región 3 del Mapa de Regionalización Sistemática del Perú, el cual significa que la ciudad tiene un valor sísmico de poco coeficiente,[45] aunque el terremoto del Perú de 2011, ocurrido al sureste de Contamana, fue sentido en la ciudad como un pequeño e inesperado remezón.

### **2.7.0.0 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

El sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la ciudad de Iquitos se encuentra diseñado mediante las siguientes etapas [46]:

1. Cámara de llegada
2. Cámara de rejillas y medidor de caudal
3. Cámara de tamices
4. Desarenador.
5. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)
6. Reactor de oxidación de mezcla completa
7. Filtro percolador.
8. Sedimentador secundario
9. Tanque de desinfección
10. Deshidratado de lodos
11. Conductos de distribución y recolección a los diferentes procesos de tratamiento.
12. Estación elevadora de aguas residuales
13. Emisor y disposición final

### **2.7.1.0 Cámara de llegada**

Las aguas residuales provenientes de la cámara de bombeo Versalles (EBD 06) llegarán a una cámara de llegada situada al interior de la planta de tratamiento de aguas residuales y desde donde discurrirá hacia la cámara de rejillas.

### **2.7.2.0 Cámara de rejillas y medidor de caudal**

La rejilla gruesa está destinada a proteger a la rejilla fina o tamiz del daño que pueda causar la presencia de materiales demasiados voluminosos. Esta estructura fue diseñada para el caudal máximo de 1425 L/s y correspondiente al año 2027. La cámara de rejillas estará compuesta por cuatro canales paralelos, tres de ellos de 1,20 m. de ancho y el otro de 1,60 m y que trabajará como canal aliviadero o "by pass". El canal de llegada y salida tendrá un ancho de 1,60 m.

Las rejillas gruesas de limpieza mecánica de 25 mm de espaciamiento estará compuesto de perfiles de acero inoxidable de 60 x 8 x 5 mm. Esta rejilla se ubicará en un ángulo de 75° con respecto a la horizontal y el material retenido será extraído por medio de peine hacia un tornillo transportador de 273 mm de diámetro y conducido a un compactador lavador para eliminar la mayor cantidad posible de materia orgánica fecal.

El canal "by pass" o aliviadero de 1,6 m de ancho tiene como finalidad minimizar el riesgo de que se produzca inundación en la planta de tratamiento por efecto de obstrucción de las rejillas y se ubicará a 0,9 m del fondo del canal.

Adicionalmente, aguas arriba y aguas abajo de cada rejilla mecánica, se han proyectado compuertas deslizantes a fin de aislar a la unidad mecánica y poder brindar el mantenimiento correctivo o preventivo a la referida rejilla. Se complementará la instalación con dispositivos para la colocación y retiro de una bomba sumergible que drenará el agua confinada entre ambas compuertas.

En la primera etapa se construirá el total de la cámara de rejas, pero solamente se instalarán dos rejas mecánicas. El control del tirante de agua en las rejas se ejecutará por medio de medidores de caudal del tipo régimen crítico y que además servirá para medir el caudal afluente a la planta de tratamiento de aguas residuales. La garganta de cada medidor será de 0.60 m.

#### **2.7.3.0 Cámara de tamices**

Las aguas cribadas en la cámara de rejas pasarán a ser cribadas en un segundo conjunto de procesos, compuesto por seis tamices de 6 mm de espaciamiento en razón del empleo de reactores anaeróbicos de flujo ascendente, los cuales pudieran ser afectados en su funcionamiento por la presencia de residuos fibrosos en suspensión y que es muy común en las aguas residuales del país, a causa del pobre servicio de recolección de residuos sólidos.

La reja fina de 6 mm de espaciamiento será del tipo tambor circular o semi circular con limpieza mecánica automática. Para el proceso de lavado se deberá contar agua limpia con una presión de 3 a 5 bar y un caudal de 0,8 L/s por unidad. Esta agua puede estar compuesta por el agua tratada.

Al igual que el caso anterior, aguas arriba de cada uno de los tamices se han proyectado compuertas deslizantes a fin de aislar a la unidad mecánica y poder brindar el mantenimiento correctivo o preventivo al referido tamiz.

En primera etapa se construirá el total de la cámara de tamices, pero solamente se instalarán cuatro de las seis unidades.

#### **2.7.4.0 Desarenador**

Inmediatamente después de la cámara de rejillas, las aguas cribadas serán conducidas por medio de un canal abierto de 1,60 m. de ancho hasta los desarenadores. Los desarenadores estarán compuestos por dos unidades en paralelo del tipo parabólico airado y con capacidad para remover granos de arena de 0,2 mm de diámetro y caudales de tratamiento comprendidos entre 880 y 1450 L/s. El período de retención será de cinco minutos para el caudal máximo de 1450 L/s.

El retiro de la arena se ejecutará por medio de una bomba sumergible instalada en un puente de desplazamiento longitudinal en donde se dispondrá de un lavador y concentrador de arena y que cumplirá dos funciones: a) retiro del material sedimentado y b) pre lavado del mismo. A fin de minimizar la presencia de materia grasa, se ha previsto la instalación de difusores de aire del burbuja media en cada uno de los desarenadores y de una central de producción de aire comprimido. El material grasa se acumulará en un espacio situado a un costado a todo lo largo del desarenador.

Al efecto, el equipo de aeración deberá ser capaz de suministrar un total de 1500 metros cúbicos de aire por hora.

Al igual que para las rejillas, aguas arriba y aguas abajo de cada desarenador se han proyectado compuertas deslizantes con actuador eléctrico a fin aislar a la unidad y brindar mantenimiento correctivo o preventivo de las partes móviles del desarenador.

Las aguas cribadas y desarenadas serán conducidas por medio de un canal abierto de 1.60 m. de ancho hasta un repartidor de caudal que dividirá el flujo en partes iguales antes de su ingreso a cada uno de los reactores anaeróbicos de flujo ascendente. En primera etapa se construirá el total de la cámara de desarenadores.

Nota. El tamizado, al año 2017 se instalaría cuatro unidades y en el año 2027 se ejecutará por medio de seis unidades de 1,8 m. de diámetro, siendo una de ellas de reserva.

### **2.7.5.0 Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)**

Se han proyectado doce reactores anaeróbicos de flujo ascendente de sección trapecial de 56,0 m de largo, 19,0 m de ancho y 6,6 m de profundidad total y 6,0 m de profundidad neta. Cada unidad ha sido proyectada con cuatro sedimentadores triangulares de 56,0 m de largo, 2,8 m de ancho y 1,75 m de profundidad. El reactor en sí y destinado al tratamiento de las aguas residuales tendrá una capacidad de 2430 metros cúbicos y equivalente a 9,2 horas de período de retención y en el fondo de la estructura se acomodarán 188 boquillas que distribuirán el agua residual en toda la sección transversal horizontal del reactor por medio de tuberías de 110 mm de diámetro. La distribución del agua se ejecutará a cada uno de los tubos de alimentación por medio de una caja en donde se acomodarán los tubos de alimentación. La cantidad de lodos a producirse ha sido estimado en 7.3 kg por persona año, lo cual representa una producción anual de aproximadamente 3400 toneladas de material seco o 66 650 metros cúbicos de lodos por año con una humedad de 95% (5,0% de sólidos)

Los lodos digeridos serán drenados por gravedad con ayuda de tuberías que se inician en el fondo del reactor anaeróbico. El lodo fluirá hacia una cisterna desde donde se impulsará al equipo de deshidratación de lodos mediante bombas de lodos. Los gases producidos al interior del RAFA serán recolectados por medio de campanas situadas en la parte alta del digester y se estima una producción total entre 9,150 metros cúbicos por día de gas metano al 70% el cual será quemado con ayuda de un dispositivo destinado a este fin.

Se estima que la DBO efluente será del orden de 100 mg/L, es decir que la eficiencia del RAFA será del 66%. En primera etapa se construirá diez de los doce RAFAs.

### **2.7.6.0 Reactor de oxidación de mezcla completa**

El efluente proveniente de los reactores RAFA, serán airados brevemente durante una hora en un reactor de mezcla completa a fin de oxigenarlos antes de su aplicación en los filtros percoladores. Estos tanques se ubicarán a la salida de cada juego de RAFAs, es decir que un tanque atenderá a dos RAFAs y serán de forma circular de 11,0 m de diámetro y 6,0 m de profundidad. La aeración se ejecutara con ayuda de un aerador tipo turbina de 20 hp cada uno de ellos.

En primera etapa se ha considerado la construcción de cinco de los seis reactores de oxidación.

### **2.7.7.0 Filtro percolador**

Al horizonte del proyecto se han diseñado seis filtros percoladores de 50,0 m de diámetro y una profundidad neta de 2,0 m. y bruta de aproximadamente 3,0 m. Los filtros diseñados son de baja tasa con una carga superficial de  $6.44 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$  y la carga orgánica de  $0,32 \text{ kg DBO} / \text{m}^3$ , estimándose que la eficiencia remocional de la DBO sea del 80 por ciento con una DBO total en el efluente entre 25 a 30 mg/L.

La ventilación se realizará por medio de ventanas o ductos de situadas o conectadas con el fondo de la unidad a fin de permitir el ingreso de aire a una tasa de  $0,3 \text{ m}^3 / \text{minuto}$ . De esta manera, el filtro trabajará de manera aeróbica.

A fin de mantener la eficiencia de las unidades de filtración, se contará con un dispositivo de sobre carga hidráulica a fin de ejecutar diariamente el desprendimiento de la película biológica y el control de la mosca phsycoda que pudiera desarrollarse al interior del material filtrante.

En primera etapa se ha considerado la construcción de cinco de los seis filtros percoladores

#### **2.7.8.0 Sedimentadores secundarios**

Se han proyectado tanto para atender la primera como segunda etapa la construcción de tres sedimentadores secundarios de forma circulares de 40,5 m de diámetro, 3,0 m de tirante de agua y 3,50 m de profundidad total. Los sedimentadores han sido diseñados con una tasa superficial promedio de  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$  y máxima de  $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ . El período de retención promedio es de 3,6 horas y 2,2 horas para el caso del máximo horario.

Para la remoción de lodos se ha considerado el empleo de barrelos que concentrarán el lodo en la parte central de la unidad, desde donde serán retirados periódicamente. El efluente será drenado por medio de una canaleta periférica que concentrará el efluente en un punto desde donde se le conducirá al tanque de desinfección.

Por la naturaleza del filtro percolador, el lodo a ser retirado de esta unidad estará altamente mineralizado, razón por la cual no necesita ser digerido. Sin embargo, a fin de mantener la flexibilidad de la planta de tratamiento el lodo podrá ser enviado al RAFA para una mayor mineralización o directamente a la planta de deshidratación de lodos. El lodo drenado por estas unidades será descargado a una cámara de bombeo desde donde será impulsado a la planta de deshidratado o al RAFA.

#### **2.7.9.10 Tanque de desinfección**

Luego de concluido el tratamiento biológico del agua residual y como medida de control de los microorganismos patógenos, se ha proyectado la desinfección del agua residual tratada mediante la aplicación de cloro gas o la aplicación de rayos



ultravioletas. El tanque de contacto de cloro tendrá un período de retención de 20 minutos. Al efecto, la longitud será de 35,0 m, el ancho de 9,0 m y la profundidad útil de 4,05 m. La concentración de cloro a ser aplicado se ha previsto en 6 mg/L, lo que significa un consumo diario de 450 kg/día.

#### **2.7.9.11 Secado de lodos**

Antes que el lodo pueda utilizarse para relleno de terrenos o como mejorador de suelos debe ser desecado convenientemente. La eliminación de la humedad del lodo reduce su volumen y modifica sus características, de tal modo que un lodo con 75 por ciento de humedad, puede ser trabajado con pala y transportarse en recipientes no impermeables.

Entre los métodos para desecar el lodo figuran, los lechos de arena, los filtros prensas, filtros de vacío, centrífugas y desecadores por calor. La desecación en lechos de arena es frecuente en las instalaciones pequeñas, mientras que en medianas y grandes instalaciones se usan equipos mecánicos, siendo la tendencia actual a recurrir a equipos mecánicos en instalaciones que sirven a poblaciones mayores a 30 000 habitantes. Por esta razón se ha considerado el empleo del filtro banda para el secado mecánico de lodos a ser producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales.

La cantidad de lodos a ser desecados se ha estimado en 3 400 toneladas de material seco o 66 650 metros cúbicos de lodos por año con una humedad de 95% (5,0% de sólidos) provenientes del RAFAs y una cantidad similar en el caso del tratamiento secundario, haciendo un total de 6 800 toneladas de material seco o 133 000 metros cúbicos de lodos por año con una humedad de 95%. Esto resulta en una contribución per cápita de 41 gramos por habitante día y la cantidad de lodos deshidratados al 25% sería de 75 metros cúbicos por día.

Los lodos secos deshidratados podrán almacenarse transitoriamente en una cancha para obtener un mayor secado o para ser vendido a los interesados como mejorador de suelo, o en su defecto, como cancha de almacenaje temporal, antes de ser conducido al relleno sanitario de la ciudad.

#### **2.7.11. Conductos de distribución y recolección**

Las aguas residuales crudas y tratadas serán conducidas por una combinación de canales abiertos o cerrados y tuberías de diferentes dimensiones. Antes de cada proceso se colocarán distribuidores para dividir el caudal en partes iguales para ser conducidos a cada de los respectivos procesos de tratamiento.

#### **2.7.9.12. Estación de bombeo**

Para el diseño del sistema de disposición final se ha tenido en cuenta los registros de los niveles de agua en el río Amazonas y que ha sido presentado en el capítulo 6.8.6

Si el nivel del río Amazonas alcanza la cota 111,30 msnm el efluente de la planta de tratamiento no podrá ser descargado por gravedad en el referido río Amazonas. Para asegurar el funcionamiento del emisor, se hace necesario contar con una estación de bombeo equipado con bombas del tipo turbina. Al efecto, se han considerado la instalación de cuatro bombas con una potencia de 100 hp cada una de ellas. La cámara de bombeo dispondrá de un sistema de by pass que permitirá que el agua residual tratada pueda fluir por gravedad o derivada a la estación de bombeo para su disposición por impulsión al río Nanay.

### **2.7.9.13. Emisor y disposición final de aguas residuales tratadas**

El emisor estará compuesto por una tubería de hierro dúctil de 1200 mm de diámetro y tendrá una longitud de 1500 metros hasta el lugar donde se empalmará con el emisor subacuático de 200 metros de longitud. Trabajando como canal, la pendiente hidráulica será de 1,7 m/1000m, lo que representa una pérdida de carga por conducción de 2,60 m. En el caso que trabaje a presión, la pérdida de carga es de 1,1 m/1000 m, lo que constituye una pérdida de carga de 1,80 m. Considerando el emisor que ejercería una pérdida de carga adicional de 0,40 m, la pérdida de carga en toda la línea de conducción trabajando tanto como canal o presión sería de 3,0 y 2,2 metros respectivamente.

Es decir que la línea de conducción trabajaría como canal cuando el nivel del río Amazonas tuviera una cota menor a 111,30 msnm. Esta información presenta desde el año 1987 hasta el 2006, los meses en los que los niveles de río menor a la cota 111,30 y que permitirá que el emisor trabaje a gravedad.

El emisor subfluvial se ubicará en el río Nanay en las proximidades de la desembocadura del al río Amazonas Nanay en la ubicación que se presenta en la figura 13. Estudios detallados en la etapa de diseño, determinarán con exactitud su ubicación y longitud. Sin embargo, los cálculos preliminares permiten definir que para cualquiera de las alternativas evaluadas, la longitud de la descarga subacuática tendrá una longitud de 200 m.

La profundidad prevista en tiempo de sequía es de 14 m, el cual en tiempo de crecientes se incrementa en un promedio de 10 m pudiendo considerarse que en esta época el tirante de agua del río Nanay en la zona de descarga pudiera ser de hasta 25 m. El diámetro del emisor se ha calculado en 1200 mm y pudiera estar compuesto por concreto, hierro dúctil, acero al carbón o FRP (fibra de vidrio reforzado). La calidad

del material se definirá en función de la estabilidad del emisor subacuático. Para propósito de estimación de costos en esta etapa, se ha previsto el uso del hierro dúctil. En relación a la estabilidad del emisor, ella depende de las fuerzas de arrastre de las aguas fluviales y está relacionada con la viscosidad y velocidad de las aguas del río, así como de la sección de la tubería expuesta al flujo de agua.

Preliminarmente, se ha determinado que el peso de la tubería más el peso de agua es suficiente para contrarrestar la fuerza de la corriente de agua. Sin embargo, por motivos de seguridad se ha considerado colocar anclajes cada 4,7 m, debiendo estar enterrada los primeros tramos del emisor. Los anclajes de concreto estimados en 42 unidades, los mismos que serán sujetos con cables de acero al carbón

#### **2.7.9.14. Disposición final de lodos**

La planta de tratamiento producirá cuatro tipos de desechos sólidos: a) material de cribas, b) material de los desarenadores, c) material flotante de los sedimentadores, y d) lodos deshidratados. Todos estos desechos sólidos deberán ser recolectados convenientemente en la planta de tratamiento y ser dispuestos al relleno sanitario. En el caso de existir demanda de los lodos digeridos y secados procedentes de los lechos de secado ellos podrán ser empleados como mejoradores de los suelos agrícolas.

#### **2.7.9.15. Obras complementarias**

Las obras complementarias estarán compuestas por el acceso, un edificio que albergará las oficinas administrativas, el laboratorio, el almacén, el comedor y los servicios higiénicos.

#### **a) Acceso**

El ingreso a la planta de tratamiento se efectuará por medio de un dique que se inicia en tierra firme y culmina en la planta de tratamiento de aguas residuales. Este dique de acceso se encontrará un metro por encima del nivel máximo de los diques que circundan la planta de tratamiento y en su extremo se construirá una tranquera para controlar el acceso a la PTAR. Al interior de la planta de tratamiento, todos los caminos de accesos serán de tres metros de ancho y llevarán una cubierta de gravilla. Los caminos de acceso llegarán a todas las estructuras hidráulicas previstas en el diseño para poder realizar el mantenimiento de los mismos. El acceso a los diferentes procesos de tratamiento se podrá ejecutar desde el dique de protección de la planta de tratamiento de aguas residuales y desde el interior de la referida planta de tratamiento.

Complementariamente, se ha proyectado obras de seguridad compuesto de un cerco vivo que permitirá enmascarar la presencia de la planta de tratamiento.

#### **b) Edificios**

Vigilancia. A la entrada a la planta de tratamiento se ubicará una caseta de vigilancia para controlar el ingreso y salida del personal y de los equipos o herramientas a ser empleados en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento Edificio de oficinas. El edificio de oficinas estará compuesto por una edificación de unos 120 metros cuadrados de extensión que albergará la oficina administrativa, el archivo, el laboratorio, el almacén, el comedor y los servicios higiénicos. A su vez, se dispondrán de tres niveles de servicios higiénicos, el primero para el personal administrativo y laboratorio, el segundo para la higiene profunda del personal de campo y el tercero para la atención de las necesidades fisiológicas de los trabajadores durante las horas de trabajo.

### **c. Comentarios finales**

En resumen, el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto estará en condiciones de cumplir con las bases de diseño siempre que se cumplan las siguientes premisas por parte de SEDALORETO:

- ✓ Implementar el programa de micromedición para regular el consumo de agua y la cantidad de aguas residuales a ser tratadas
- ✓ Controlar el control de ingreso de aguas de lluvia o de cualquier tipo de agua diferente a las aguas residuales como son las aguas de manantial o de las quebradas
- ✓ Cambiar los tramos de colectores que facilitan la infiltración de las aguas subterráneas.
- ✓ Controlar las descargas comerciales o industriales con alto contenido descarga orgánica, sedimentos, grasas, o altas o bajas concentraciones de iones hidronio (pH), de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Desagües Industriales.
- ✓ El personal encargado de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, debe ser capacitado convenientemente en el manejo de los diferentes procesos de tratamiento.

### **2.8.0.0 DIAGRAMA EN BLOQUES**

En el diagrama en bloques se presenta las siguientes etapas descritas en el ítem 2.7.0. y se puede ver en el anexo 02

### 2.9.0.0 ASPECTOS DEL PTAR

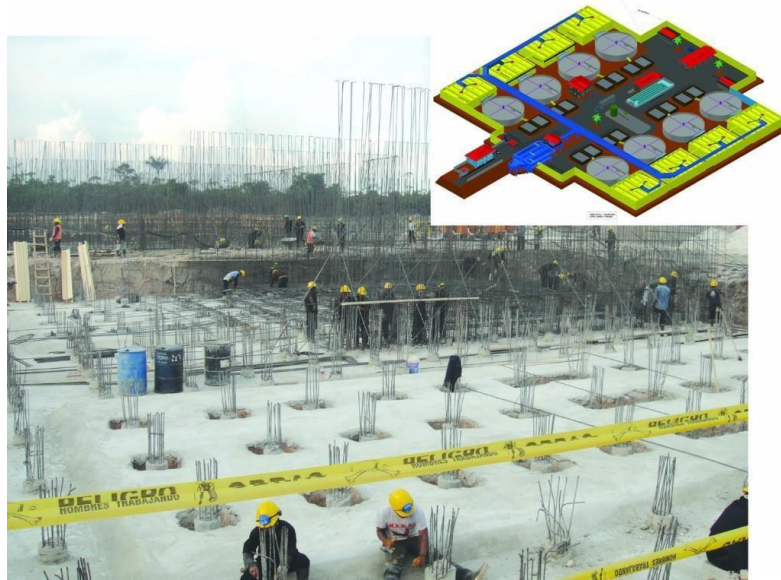


Foto 01. Colocación de pilones



Foto 02 Vista aérea 2012. Construcción de los tanques de oxidación y percoladores



## 2.10.0.0 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DEL PTAR A LA DESCARGA AUTORIZADO POR LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DEL AGUA (ANA)

Mediante Resolución Directoral Nro 117-2012-ANA-DGCRH, con fecha, Lima, 28 de Agosto del 2012 [47], otorgar autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas a favor del PTAR, por un plazo de dos (02) años, contados a partir de la fecha de inicio de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos (incluyendo la puesta en marcha), para lo cual EPS SEDALORETO S.A, deberá informar oportunamente a esta Autoridad la fecha de inicio antes señalada.

EPS SEDALORETO S.A, deberá garantizar la óptima operación y eficiencia de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos, para el cumplimiento de los LMP establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM [48], de manera que se garantice el cumplimiento de los ECA-Agua en el cuerpo receptor.

Tabla N° 04 Límites Máximos Permisibles (LMP) para los Efluentes de un PTAR		
Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 – 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (NMP = Número más probable)

El PTAR deberá realizar el control de los siguientes parámetros: pH, temperatura °C, Conductividad Eléctrica, DQO, SST, aceites y grasas, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Sulfuros en el efluente tratado y cuerpo receptor, y adicionalmente el parámetro OD sólo en el cuerpo receptor, además del caudal y volúmenes acumulados de aguas residuales municipales tratadas vertidas al río Nanay. Los análisis de agua deberán ser realizados por un laboratorio acreditado por INDECOPI. Para la realización del monitoreo se deberá tomar en cuenta lo establecido en el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial" aprobado mediante Resolución Jefatural N' 182-2011-ANA [49]. La frecuencia del control y reporte de los resultados deberán ser remitidos a la Autoridad Nacional del Agua de manera trimestral y debidamente sistematizados en documento impreso y digital editable, según formato aprobado por la Autoridad Nacional del Agua, indicando en el caso del cuerpo receptor las coordenadas UTM (WGS84) de los puntos de control. Este reporte deberá ser remitido como máximo a la semana siguiente de culminado el trimestre correspondiente. Los puntos de control en el efluente municipal tratado en el cuerpo natural de agua son los siguientes:

Tabla 05 Puntos de control de entrada y salida del efluente

Punto de Control	Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84, Zona 18)	
S-PTAR	Punto a la salida del Sistema de Tratamiento	9 589 159 N	693 062 E
V-PTAR I	Punto Final de la quena donde se realizará el vertimiento (superficie)	9 590 068 N	691 297 E
P-01	A 200 m aguas arriba del punto de vertimiento	(*)	
P-02	A 200 m aguas abajo del punto de vertimiento	(*)	
P-03	A 200 m aguas arriba del punto de vertimiento	(*)	
P-04	A 200 m aguas abajo del punto de vertimiento	(*)	

(\*) A determinar en la inspección de campo por la Administración Local de Agua Iquitos.

De conformidad con el artículo 136° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, EPS SEDALORETO S.A, deberá disponer de sistemas de medición de caudales de aguas residuales tratadas y reportar los resultados de la medición, precisando los

caudales y volúmenes acumulados de aguas residuales municipales tratadas vertidas al río Nanay.

En la referida RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nro 117-2012 – ANA [50], se resuelve:

**ARTÍCULO 1°.-** Otorgar a EPS SEDALORETO S.A, autorización de vertimiento de aguas residuales municipales tratadas, provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos (Primera Etapa), ubicado en el distrito Punchana, provincia Maynas, departamento de Loreto, por un volumen anual de 21 081 816 m<sup>3</sup>/año (668,50 L/s), de régimen continuo, a través de un emisor subfluvial que consta de una tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1 200 mm de diámetro y 377,88 m de longitud total que serán descargadas al río Nanay, clasificado dentro de la categoría 4 "Conservación del Ambiente Acuático- Ríos de la Selva", según lo establecido en la Resolución Jefatural N° 202-201 O-ANA [51], de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 06 Descripción del efluente

Descripción del Efluente	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Caudal (L/s)	Régimen	Coordenadas UTM WGS 84, Zona 18 (*)	Cuerpo Receptor
Aguas residuales municipales tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos – PTAR Iquitos (Primera Etapa)	21 081 816	668,50	Continuo	9 590 068,3 N 691 296,5 E	Río Nanay
<b>Volumen Total</b>	<b>21 081 816</b>				

(\*) Esta Ubicación deberá ser verificada en la inspección a efectuar por el ALA Iquitos, una vez que el sistema de tratamiento sea puesto en operación.

**ARTÍCULO 2°.** - El plazo de vigencia de la autorización otorgada en el artículo precedente, es de dos (02) años, contados a partir de la fecha de inicio de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos

(incluyendo la puesta en marcha), para lo cual EPS SEDALORETO S.A, deberá informar oportunamente a esta Autoridad la fecha de inicio antes señalada.

ARTÍCULO 3°.- Disponer que la EPS SEDALORETO S,A, quede sujeta al cumplimiento de las siguientes obligaciones, respecto del vertimiento autorizado:

3.1 Cumplir con lo señalado en el sétimo considerando de la presente resolución.

3.2 Controlar el vertimiento autorizado en los puntos de control indicados en el Cuadro N° 1, consignado en la parte considerativa de la presente resolución.

3.3 Pagar la retribución económica por el vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas al río Nanay, por un volumen anual de 21 081 816 m<sup>3</sup>.

ARTÍCULO 4° .- Establecer que el vertimiento municipal autorizado comprende únicamente a las aguas residuales municipales tratadas a ser generadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos (Primera Etapa), ubicado en el distrito Punchana, provincia Maynas, departamento Loreto, las mismas que serán tratadas en una (01) planta de tratamiento de 76 032 m<sup>3</sup>/día de capacidad de tratamiento promedio, compuesta por cámara de llegada, desarenadores, rejas finas, medidor de caudal, reactores anaeróbicos de flujo ascendente, reactores de oxidación de mezcla completa, filtros percoladores, sedimentadores secundarios, tanque de desinfección, deshidratadores de lodos, estación sopladora de aire, estación de bombeo y emisor subfluvial.

ARTÍCULO 5°.- Precisar que la ubicación del punto de vertimiento autorizado y condiciones de disposición final, así como la ubicación de los puntos de control en el cuerpo receptor deberán ser verificados por la Administración local de Agua Iquitos.

ARTÍCULO 6°.- Notificar la presente resolución a la EPS SEDALORETO SA.

ARTÍCULO 7°.- Poner en conocimiento de la presente resolución a la Dirección Nacional de Saneamiento del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, a la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud y remitir copia a la Administración local de Agua Iquitos y a la Oficina de *Valor Económico del Agua* de la Dirección de Administración de Recursos Hídricos de la Autoridad Nación al del Agua.

### 2.11.0.0 INVERSIÓN

Los costos para la construcción del PTAR en la Ciudad de Iquitos de las unidades operativas [52], tanto para el lote 1 y 2 se resumen en la tabla 07 haciendo un total de S/. 418 571 508,23 millones de nuevos soles y en la tabla 08 se tiene la distribución del financiamiento con el IGV respectivo, haciendo un total de la inversión de S/. 421 092 389 nuevos soles.

Tabla 07. Costos de la inversión de la construcción de unidades operativas

Lote	Descripción de la Obra	Costo previsto
Lote 1	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Cámaras de Bombeo; líneas de Impulsión y Disposición Final	196 199 786,81
Lote 2	Colectores principales, Interceptores, Redes Secundarias, Conexiones Domiciliarias y Rotura y Reposición de Pavimentos	222 371 721,42
TOTAL		418 571 508,23

Tabla 08. Distribución de las fuentes de financiamiento

ESQUEMA DE FINANCIAMIENTO		
FUENTE	TOTAL S/.	%
Financiamiento Externo (JICA)	189 600 000	45.0
Contrapartida Local	231 492 389	55.0
Gobierno Regional (Canon Petrolero)	138 206 321	32.8
Ministerio de Vivienda	31 600 000	07.5
IGV de Obras	61 686 068	14.6
TOTAL INVERSION		421 092 389
		100.0

FUENTE: Oficina Regional de Control Institucional del Gobierno Regional de Loreto

## 2.12.0.0 SIMULACIÓN

La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos.

Una definición más formal formulada por **Shannon R.E.** [53] es: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema".

Es una técnica para analizar y estudiar sistemas complejos. Nos permite reunir información pertinente sobre el comportamiento del sistema porque simula un modelo computarizado. Según Galán J.,[54] se puede definir la simulación como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona con el tiempo- la simulación no es una técnica de optimización, sino una técnica para estimar las medidas de desempeño del sistema modelado. Un modelo de simulación toma la forma de un conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés del sistema. En contraste con las soluciones matemáticas la simulación influye en la ejecución del modelo en una computadora, que genera muestras representativas de las mediciones de desempeño como un experimento de muestreo para un sistema real.

### 2.12.1.1 DEFINICIÓN E IMPORTANCIA

Se considera el desarrollo el modelo dentro del contexto del problema definido, a través de los diagramas de flujos, la estequiometría de la reacción, el equipamiento, la elaboración del software aplicativo, la introducción de los parámetros, la

verificación o validación del proceso elaborado por medio de la experimentación o corrida de datos y su convergencia.

#### **2.12.2.0 ETAPAS EN LA SIMULACIÓN a.**

##### **Definición del sistema**

Consiste en estudiar el contexto del problema, identificar los objetivos del proyecto, especificar los índices de medición de la efectividad del sistema, especificar los objetivos específicos del modelamiento y definir el sistema que se va a modelar.

##### **b. Formulación del modelo**

Una vez definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, se define y construye el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo.

##### **c. Colección de datos**

Es importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados.

##### **d. Implementación del modelo en la computadora**

Definido el modelo, el siguiente paso es decidir que software en Ingeniería se utilizará como podría ser:

El CHEMCAD, simulador de procesos utilizados en varias industrias, desde la refinación de crudo hasta la fabricación de cosméticos. Permite resolver muchos de los problemas de la Ingeniería Química en poco tiempo y con resultados confiables.

El HYSIS, es un simulador comercial de múltiples aplicaciones. Muy utilizado en química e Ingeniería de petróleo por su facilidad en separaciones.

ASPEN PLUS, es un simulador estacionario, secuencial y modular. Modela y simula cualquier tipo de proceso para el cual hay un continuo flujo de materiales y energía de una unidad de proceso a otra.

SUPER PRO DESIGNER. Simulador de procesos líder en la industria de la biotecnología. Utiliza el ciclo de vida de envío y comercialización de productos, facilitando la optimización de procesos.

Tomando en cuenta el tema a tratar, se ha elegido este último por las grandes aplicaciones que tiene con los procesos biológicos, como biotecnología y procesos, purificación de agua, farmacéutica, tratamiento de aguas, hidrometalurgia y proceso de minerales, industria de la pulpa y papel, contaminación del aire.

#### **e. Verificación**

El proceso de verificación consiste en comprobar que el modelo simulado cumple con los requisitos de diseño para los que se elaboró. [55]. Se trata de evaluar que el modelo se comporta de acuerdo a lo programado.

#### **f. Validación del Sistema**

A través de esta etapa es valorar las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real que se está tratando de simular. [56]. Las formas más comunes de validar un modelo son:

1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
3. La exactitud en la predicción del futuro.



4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

#### **g. Experimentación**

La experimentación con el modelo se realiza después que éste haya sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar un análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

#### **h. Interpretación**

En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y con base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado.

#### **i. Documentación**

Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación del tipo técnico y la segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado.

### **2.13.0.0 MODELOS DE SIMULACIÓN**

La experimentación puede ser un trabajo de campo o de laboratorio. El modelo de método usado para la simulación sería teórico, conceptual o sistémico [57].

**a) Modelo teórico**

El *'modelo teórico'* debe contener los elementos que se precisen para la simulación. Un ejemplo con trabajo de laboratorio es un programa de estadística con ordenador que genere números aleatorios y que contenga los estadísticos de la media y sus diferentes versiones que podría ser: cuadrática, aritmética, geométrica, armónica. Además debe ser capaz de determinar la normalidad en términos de probabilidad de las series generadas. La hipótesis de trabajo es que la media y sus versiones también determinan la normalidad de las series. Es un trabajo experimental de laboratorio. Si es cierta la hipótesis podemos establecer la secuencia teorema, teoría, ley. Es el modelo principal de toda una investigación científica, gracias a ello podemos definir una hipótesis, unas explicaciones o predicciones.

**b) Modelo conceptual**

El *modelo conceptual* se establece por un cuestionario y con trabajo de campo. La importancia de la aceptación o rechazo en una colectividad es hacerlo por medio de un cuestionario en forma de una simulación con una escala actitudinal. Después de ver si la población es representativa o adecuada, ahora la simulación es la aplicación del cuestionario y el modelo es el cuestionario para confirmar o rechazar la hipótesis de si existe discriminación en la población y hacia qué grupo de personas está dirigido y en que situaciones. Gran parte de las simulaciones en las ciencias sociales, son de este tipo.

**c) Modelo Sistémico**

El *modelo sistémico* es más pretencioso y es un trabajo de laboratorio. Se simula el sistema social o natural en una representación total. Un plan de desarrollo en el segmento de transportes con un modelo de ecología humana, por ejemplo. El énfasis en la teoría general de sistemas es lo adecuado en este tipo de simulaciones. Este método, es para un Sistema complejo, es sumamente abstracto, no se limita a la

descripción del sistema, sino que debe incluir en la simulación las entradas y salidas de energía y procesos de homeostasis, autopoiesis y retroalimentación.

Tanto el programa de estadística, como la escala de actitud, como el sistema total, son perfectas simulaciones de la realidad y modelizan todos los elementos en sus respectivas hipótesis de trabajo. Son también un microclima y el ambiente o el escenario en los procesos de simulación/experimentación. Otras propiedades que deben contener las simulaciones es que sean repetibles indefinidamente. Que eviten el efecto de aprendizaje que incita al encuestador o programador a rellenar él mismo y que se podrá evitar con algún control, que sean flexibles o mejorables y que no sea evasivo al cambiar la población de las muestras sucesivas.

#### **2.14.0.0 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE**

El software de Pro -Designer [58], es la mejor opción de hoy en día como herramienta para el Ingeniero, científico, bioquímico o del medio ambiente en I + D, ingeniería de procesos o de fabricación. Su uso mejora la eficacia de la productividad y la comunicación de todos los miembros de su grupo, así como entre un grupo y otras partes de la organización.

Todas las herramientas de software de Pro -Designer ofrecen un equilibrio único entre flexibilidad, facilidad de uso y potencia de cálculo. Pueden ser utilizados fácilmente por un principiante de la computadora que no está muy familiarizado con la simulación y la evaluación económica. Se encuentra que todas las herramientas de software de Pro -Designer se basan en la misma interfaz fácil de usar por lo que es posible migrar de un producto a otro según las necesidades. Y en caso de toparse con una pregunta, la ayuda está accesible desde el teclado. Haciendo uso de F1 se encuentra un sofisticado sistema de ayuda basado en hipertexto, con la ya familiar interfaz de Ayuda MS-Windows. El sistema permite realizar búsquedas de temas relacionados con las palabras clave, saltar de un tema de ayuda a otro, y así sucesivamente.

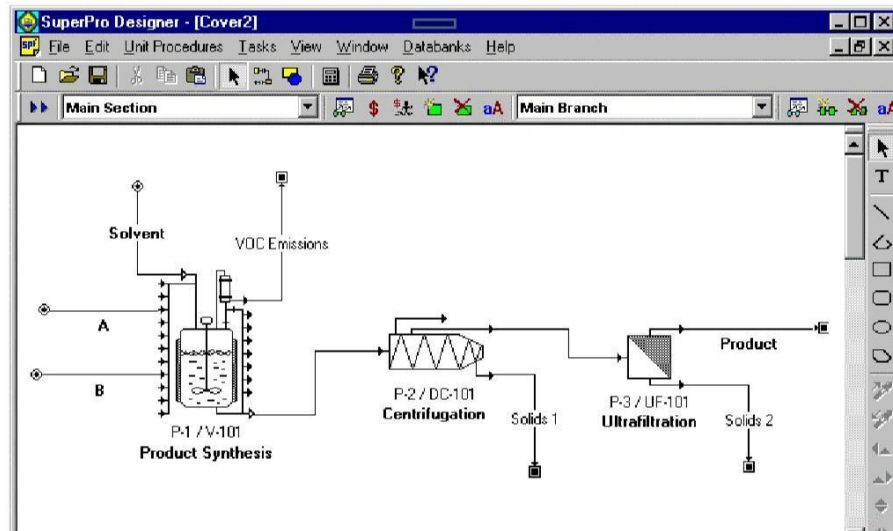
El software presenta una manera de aprender el producto de lo más suave y corto posible, al mismo tiempo, tiene dotado varias características que satisfarán incluso a los veteranos de simulación cuando se trata de diseño preliminar y la evaluación de alternativas de proceso:

- Materiales y Energía. Saldos de Procesos Integrados
- Equipos acerca de programación de Procesos y Análisis de Ciclo de vida
- Tiempo de Procesos por lotes
- Guía rápida
- Análisis de costos y evaluación económica
- Análisis de rendimiento
- Evaluación de Impacto Ambiental

El software está constituido por un panel y diferentes menús y herramientas.

#### **2.14.4.0. PANEL**

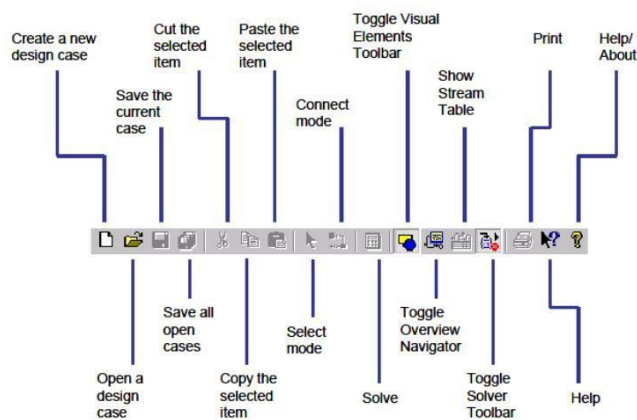
En el siguiente esquema se aprecia en la primera fila las herramientas File, Edit, Unit Procedure, Tasks, View, Window, Databanks y Help y en la segunda fila iconos para abrir un nuevo panel, para abrir, guardar, pegar archivos, el cursor para conectar los equipos, imprimir y ayudas. Al lado derecho se encuentran las herramientas para editar texto y dibujar.



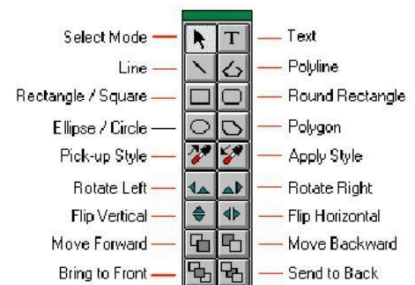
### 2.14.5.0. MENÚ Y HERRAMIENTAS.

En este ítem se muestran la estructura de los diferentes menús y herramientas, paletas funcionales para visualizar elementos y como ejemplo el menú de la unidad de procesos, que contiene una serie de equipos que se pueden utilizar al elaborar un caso de estudio en Ingeniería.

#### Main Toolbar



#### Visual Elements Toolbar (Palette)



## 2.14.6.0. EL MENÚ DE LA UNIDAD DE PROCESOS.

El menú de la unidad de procesos es la sección donde el usuario tiene la facultad de seleccionar los equipos necesarios en el desarrollo de un sistema de simulación, donde se puede encontrar tanques, reactores, bombas, filtros, mezcladores, etc.

### Unit Procedures Menu

From this menu you can select the desired unit procedure through a series of hierarchical submenus. There is an entry for each procedure group included in your program. If you own a license of EnviroPro, some of the following groups or group-members may not be available. All entries are of course available in SuperPro Designer.

#### Vessel Procedure

- In a Reactor
- In a Seed Reactor
- In a Fermentor
- In a Seed Fermentor
- In an Air-Lift Fermentor

#### Continuous Reaction

##### Stoichiometric

- In a CSTR
- In a PFR
- In a Fermentor
- In a Seed Fermentor
- In a Air-Lift Fermentor

##### Kinetic Reaction

- In a CSTR
- In a PFR
- In a Fermentor
- In a Seed Fermentor

##### Equilibrium

- In a CSTR

##### Environmental

- Well-Mixed Aerobic BioOxidation
- Plug Flow Aerobic BioOxidation
- Anaerobic Oxidation
- Trickling Filtration
- Anoxic Reaction
- Neutralization
- Wet Air Oxidation
- Incineration

#### Inoculum Preparation

- In a Disposable Bioreactor
- In a Roller Bottle
- In a T-Flask
- In a Shake Flask
- In a Test Tube

#### Filtration

- Microfiltration (batch)
- Microfiltration (feed and bleed)
- Ultrafiltration (batch)
- Ultrafiltration (feed and bleed)
- Reverse-Osmosis (batch)
- Reverse-Osmosis (feed and bleed)
- Diafiltration
- Dead End
- Nutsche
- Plate & Frame

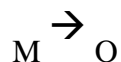
## CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

### 3.1.0.0 TIPO DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO

El Tipo de investigación es experimental propiamente dicho y el diseño del estudio es descriptivo simple (caracterización de la materia prima, el proceso y los productos)

El esquema para el diseño descriptivo es el siguiente:



Donde:

M: Es la muestra del estudio.

O: Es la observación en general

### 3.2.0.0 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La ciudad de Iquitos se encuentra en la provincia de Maynas ubicada en la Región Loreto en la zona Nor-Oriente del Perú. La ciudad se ubica al margen izquierdo del río Itaya, es el centro urbano más importante de la Amazonía peruana y es la sexta ciudad más poblada del país con 539 901 habitantes que habita sobre en un área de 119 859,40 km<sup>2</sup>. Es el principal puerto fluvial peruano y unos de los más importantes a lo largo del Amazonas.

Los datos geográficos refieren la ubicación de Iquitos a una distancia aproximada de 3,360 km (2,088 millas) de la desembocadura del Amazonas en el Océano Atlántico y a 125 km (77,67 millas) aguas abajo de la confluencia de los ríos Ucayali y Marañón, donde el cauce toma el nombre de Amazonas y a más de 3000 km (1,864

millas) de lo que se dice, es su fuente geográfica ubicada en la región Arequipa, al sur del Perú.

Sus coordenadas son: latitud de 3° 45' 0" S, longitud de 73° 15' 0" W y a una altitud de 106 m.s.n.m.

El área metropolitana de Iquitos se expande dentro de 4 distritos de la provincia de Maynas: Iquitos (163 594 habitantes), Belén (74 551 habitantes), Punchana (85 179 habitantes) y San Juan Bautista (124 143 habitantes).

### 3.3.0.0. POBLACIÓN CALCULADA Y CAUDAL

Los estudios que encargo el GOREL a la Empresa ECHE Ingenieros S.R.L [59] en su resumen ejecutivo señalan, que la población calculada para los horizontes años 2007, 2017 y 2027 con una tasa de crecimiento población de 2.3%, obtuvieron una población como se aprecia en el cuadro siguiente:

Cuadro 05 Población estimada de la Ciudad de Iquitos (Nro habitantes)

Censo Año 2005	377 603
Estimada Año 2007	395 018
Estimada Año 2017	483 413
Estimada Año 2027	568 804

Fuente; Resumen Ejecutivo 011 Empresa ECHE Ingenieros S.R.L.

En los estudios e informes realizados por la OPIP – GOREL en base a la población total se atenderá para el año 2027 a 451 061 personas que representa un 79.3% del total con un caudal de 877.7 l/s (75 831 m<sup>3</sup>/día)



### 3.4.0.0 CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL - PTAR

En base a los datos encontrados se tiene un resumen de las bases de diseño del PTAR [60]

Tabla 09. Parámetros operacionales. Base de diseño del PTAR

Parámetro	2007	2017	2027
Población total	395 018	483 413	568 804
Población servida	257 157	379 963	460 356
Caudales promedio m <sup>3</sup> /día	43 629	61 710	75 050
L/s	504,96	714,23	868,63
Caudales de diseño:			
Estructuras hidráulicas (L/s)	1450	1450	1450
Reactores de tratamiento (L/s)	520	720	880
Lagunas (L/s)	520	720	880
Cargas orgánicas (kg/día)	11 315	17 820	23 018
Concentración del desecho:			
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	253	286	300
Sólidos suspendidos (mg/L)	420	450	480
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1,0E+08	1,1E+08	1,2E+08

### 3.5.0.0. DISEÑO PROPUESTO

Para el diseño que se propone en el presente estudio, se ha considerado una alternativa en el tratamiento de las aguas residuales en lo que consta el tratamiento aeróbico de dos reactores de bio-oxidación de mezcla completa, clarificación, filtros a presión, secado de los lodos y lavado.

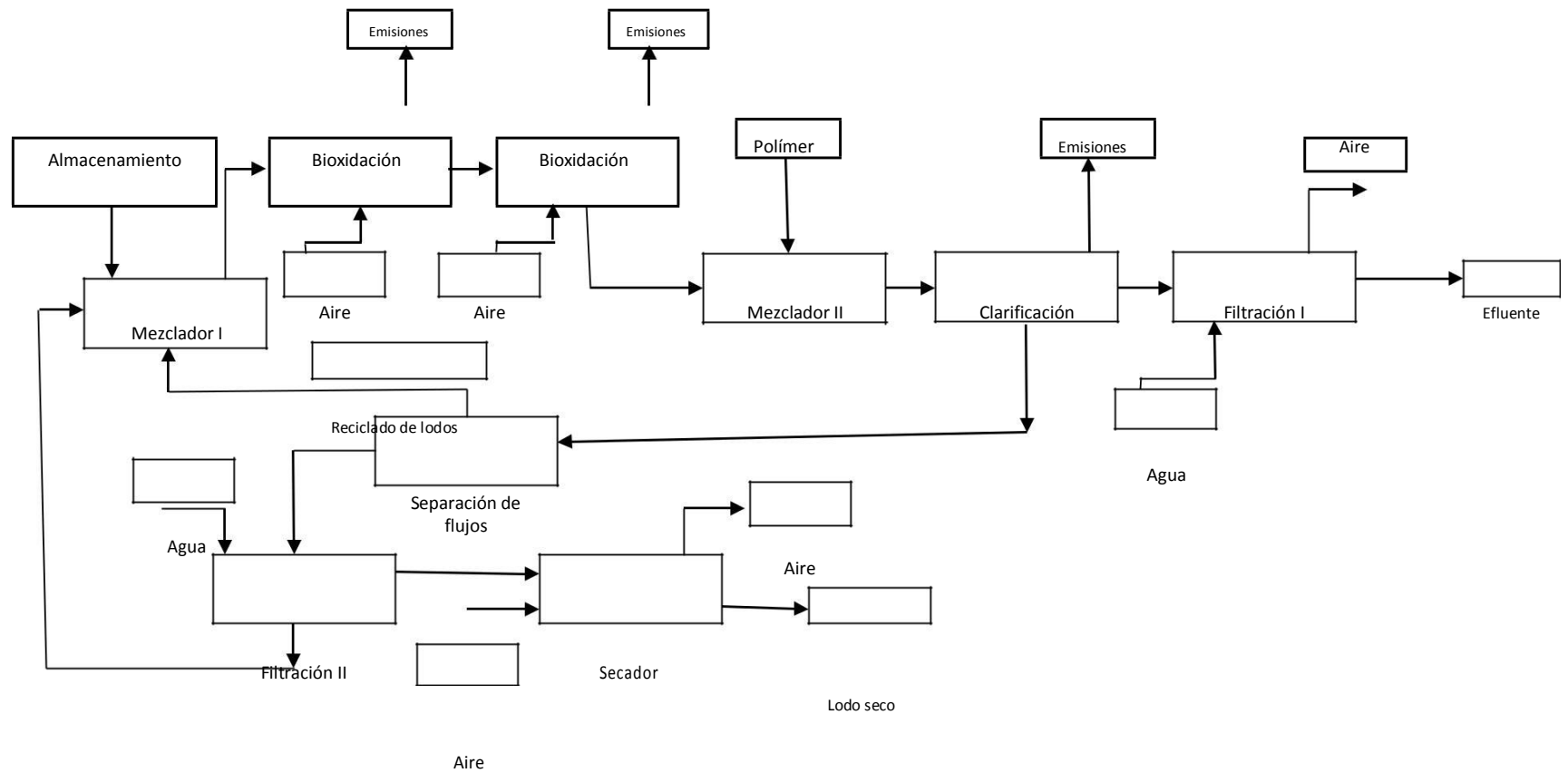
En la simulación que se propone, solo se ha considerado el tratamiento primario y secundario, enfatizando en el proceso aeróbico, dejando entendido que todo proceso de tratamiento de aguas residuales, es necesario considerar el pre tratamiento, que es el desbaste, tamizado, desarenado, desaceitado y desengrasado y para propósitos específicos el tratamiento terciario que es la desinfección de microorganismos patógenos mediante la cloración.

### 3.6.0.0 CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL PROPUESTO PARA LA SIMULACIÓN

Tabla N° 10 Poblacional Urbana estimada para la Ciudad de Iquitos (Hab) (r = 1.3 %) - Horizonte 20 años				
Concepto	Criterio de cálculo	Horizonte		
		2007*	2017	2027
	$P_t = P_o (1+r)^t$			
Poblac Total ( hab)		254 705	289 822	329 782
Cobertura Saneamiento (%)	60%; 70% y 80%	0,60	0,70	0,80
Población servida (hab)		152 823	202 876	263 825
Consumo Percápita (L/hab-dia)	220	220	220	220
Evacuación Percápita (L/hab-dia)	80%	176	176	176
Caudal promedio (Qp= L/s)	505	505	670	872
$M = 1+14/(4 + P^{1/2})$ P = Qp/2 (Coef. Harmon)		1.53	1.47	1.42
Qmax = M Qp (L/s)		772	984	1236
Qmin = Qp/M (L/s)		330	457	615
Parámetros de diseño				
Datos		Años		
		0	10	20
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /h)		1 818	2 413	3 138
Cauda promedio (m <sup>3</sup> /día)		43 632	57 922	75 324
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)		2 779	3 544	4 449
Cauda máximo (m <sup>3</sup> /día)		66 707	85 050	106 778
Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)		1 189	1 644	2 214
Cauda mínimo (m <sup>3</sup> /día)		28 539	39 447	53 135
Carga orgánicas (kg/día)		7 901	13 436	22 769
Caudales de diseño				
Diseño operativo				
Reactores de tratamiento (l/s)	90%	556	737	959
Lagunas (l/s)	90%	556	737	959
Concentración de desechos				
DBO Kg/m <sup>3</sup>	50 g/hab-dia	175	232	302
SS Kg/m <sup>3</sup>	90 g/hab-dia	315	418	544
Coliformes totales (NPM/100mL)		1,E+08	1,1E+08	1,2E+08
Fuente: INEI - Población - Censo 2007 - 2013, r = 1.3% Tasa de crecimiento				

### 3.7.0.0. DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama de flujo en bloques de la planta de tratamiento de aguas residuales (proceso seleccionado)



### 3.8.0.0. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE INGENIERIA A USAR EN LA ELABORACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

En la elaboración del software aplicativo para la simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se han utilizado los siguientes equipos que a continuación se describen [61]:

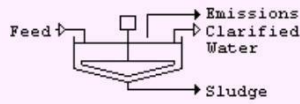
Custom Mixing Procedure	
<p><b>Icon</b></p>	<p><b>General Description</b></p> <p>This procedure can represent any scheme that mixes two bulk flow streams, where one of the two (the top) streams (of known composition, but adjustable flow) is allowed to assume any value in order to meet a specification in the outlet.</p>

Well-Mixed Aerobic BioOxidation Procedure	
<p><b>Icon</b></p>	<p><b>General Description</b></p> <p>This unit procedure simulates transformation (e.g., bio-oxidation, chemical oxidation, hydrolysis, photolysis, nitrification, sorption, etc.) of organic and other compounds in a well-mixed basin under aerobic conditions. Any number of reactions can be specified with a variety of kinetic expressions. The model performs rigorous VOC emission calculations for surface and diffused aeration systems.</p>

Custom Mixing Procedure	
<p><b>Icon</b></p>	<p><b>General Description</b></p> <p>This procedure can represent any scheme that mixes two bulk flow streams, where one of the two (the top) streams (of known composition, but adjustable flow) is allowed to assume any value in order to meet a specification in the outlet.</p>

### Clarification Procedure

**Icon**

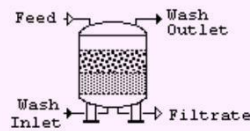


**General Description**

This unit procedure simulates removal of particulate components in a clarifier. The removal efficiency is either calculated using an empirical model or specified by the user. The model can handle rigorous VOC emission calculations.

### Granular Media Filtration Procedure

**Icon**

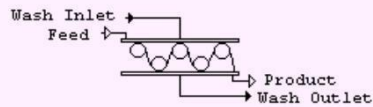


**General Description**

This unit procedure simulates the performance of a continuous or semi-continuous granular multi-medium filter. Design and rating modes of calculation are available. The flow of the washing solvent is adjusted by the filtration operation. Therefore it must be a process-input stream and not the output of another procedure.

### Belt Filtration Procedure

**Icon**

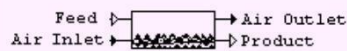


**General Description**

This unit procedure simulates sludge dewatering in a belt filter press. The material balances are based on the removal percentage of particulate components and the solids content of the cake.

### Sludge Drying Procedure

**Icon**

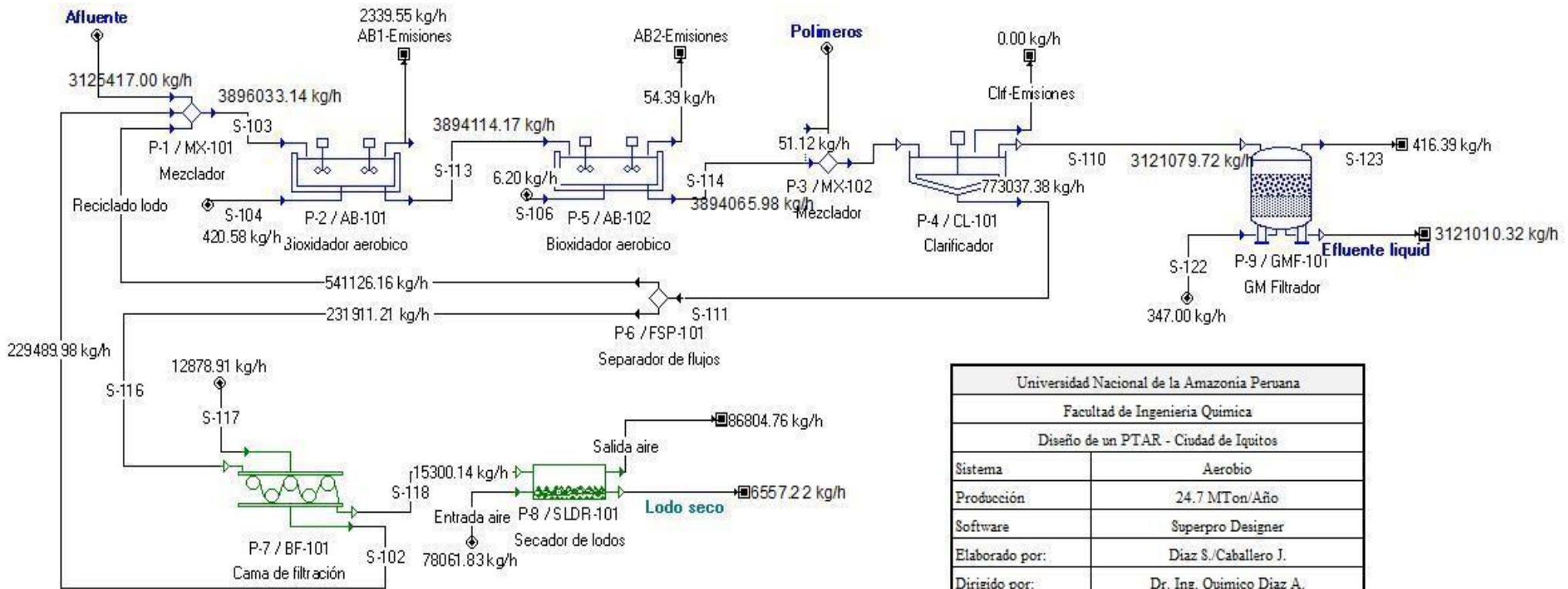


**General Description**

This unit procedure a generic sludge dryer. Based on user-specified performance data, it carries out material balances to estimates the composition of the exiting streams and performs energy balances to calculate the heating requirement.

### 3.9.0.0 SOFTWARE ELABORADO PARA LA SIMULACIÓN DEL PTAR – IQUITOS.

## Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ciudad de Iquitos

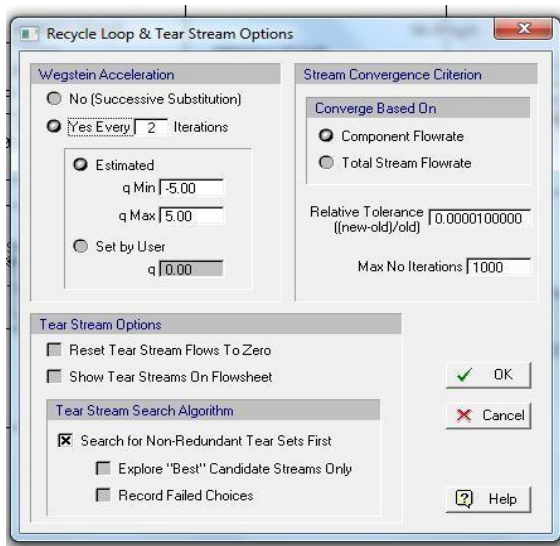


Universidad Nacional de la Amazonia Peruana	
Facultad de Ingenieria Quimica	
Diseño de un PTAR - Ciudad de Iquitos	
Sistema	Aerobio
Producción	24.7 MTon/Año
Software	Superpro Designer
Elaborado por:	Diaz S./Caballero J.
Dirigido por:	Dr. Ing. Quimico Diaz A.
Fecha:	2014

### 3.10.0.0 VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD

A través de esta etapa se ha valorado las diferencias entre el funcionamiento del simulador. Los criterios para validar el modelo y determinar la confiabilidad, fueron:

1. Haciendo uso de la técnica Delphi, con la opinión de expertos sobre los resultados de la simulación (Ing. Fernando Salas Barrera, Mg. – FISI-UNAP, Ing. Carlos Avalos Ruiz, Mg. – FISI – UNAP) (ver Anexo)
2. La exactitud con los que se repiten los resultados, especialmente en el balance de materiales.
3. La comprobación del modelo matemático mediante la corrida de los datos, en el cual, no existe “truncamiento” en el sistema.
4. La aceptación de las personas que han intervenido en la verificación de los resultados del experimento de simulación.
5. La determinación de la confiabilidad del sistema se determinó mediante la convergencia hasta un máximo de 1000 iteraciones que ejecuta el programa, no encontrando dificultad en el procesamiento de la información.



## CAPÍTULO IV

# ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1.0.0 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN TÉCNICA

El diseño de la planta para su simulación, se sustenta en una nueva alternativa de estudio basado en el uso de sistemas de biooxidación aeróbica a diferencia del PTAR-Iquitos que usa un sistema híbrido de biooxidación anaerobia y aerobia, con una poblacional estimada por el INEI en el año 2013, considerando una tasa de crecimiento de 1,3% a diferencia del estudio de ECHE Ingenieros S.A. para el PTAR, que consideró una tasa de crecimiento al 2,3% en el mismo horizonte del proyecto.

Tabla 11 Población estimada  $t = 1.3\%$  Horizonte 20 Años

2007	254 705
2017	289 822
2027	329 782

Fuente: INEI 2013[62]

La planta de tratamiento de aguas residuales se realizó usando un sistema de biooxidación aeróbica, debido a que la relación DBO5/DQO es mayor que 0,5 y que según CRITES R. et al (2000) [63] los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. El diseño del PTAR propuesto tiene un sistema de biooxidación aerobia.

El diseño tiene dos secciones en el diagrama de flujo:

- 1) La sección de biooxidación (de color azul)
- 2) La sección de tratamiento de lodos (de color verde)



La sección de biooxidación consiste en el afluente pre tratado, bioreactores de oxidación aerobia, clarificación y filtración del efluente.

La sección de tratamiento de lodos, consiste en la cama de filtración, el secado de lodos y descarga del lodo seco.

Los **equipos en la sección de biooxidación** son lo siguiente:

Un mezclador P1/MX-101 donde se mezcla el afluente, el reciclado de lodo y el agua residual.

Dos bioreactores de oxidación de mezcla completa para la remoción (P2/AB-101 y P5/AB-102)

Un mezclador P3/MX-103 donde se mezcla el polímero con el agua residual que sale del segundo reactor de oxidación.

Un clarificador P4/CI-101

Un filtro P9/GMF – 101 de donde se obtiene el efluente

Los **equipos en la sección de tratamiento de lodos** son:

Un separador de flujo P6/FSP – 101 del reciclado de lodos

Una cama de filtración P7/BF – 101

Un secador de lodos P8/SLDR – 101

#### **4.1.1.0 DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE BIOXIDACION AEROBIA.**

El sistema de tratamiento de aguas residuales de biooxidación aerobia, está diseñado para una producción similar a la producción del PTAR, atendiendo a una cobertura de saneamiento del 80% en un horizonte de 20 años (2027) de 24,7 M Ton/Año al

horizonte 2027 (considerando un año operativo de 330 días) con un caudal promedio operativo de 3 125 417 kg/h de aguas residuales.

El ingreso del afluente tiene las características químicas y biológicas siguientes:

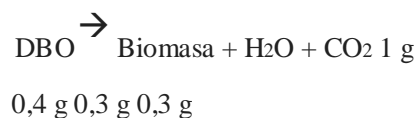
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Densidad (g/l)
Agua	3 119 377	995,99
DBO	4 725	4,98
DQO	1 093	0,64
Biomasa	222	0,1

Para que la transformación biológica se haga efectiva, eficaz y eficiente, se ha considerado las condiciones para el crecimiento bacteriano a una temperatura promedio de 27°C, una inyección de aire con una concentración oxígeno de 2 mg/L, un pH entre 6,5 y 8,0, una salinidad menor a 3,000 ppm y con cierta trazas de metales pesados como Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb, por debajo de un total de 0,1 kg/h

La DBO representa los componentes fácilmente biodegradables mientras que el DQO a los componentes no biodegradables, además de los componentes volátiles.

#### **4.1.2.0. ESTEQUIOMETRÍA DE LOS SUSTRATOS.**

El principal sustrato que es el DBO, su estequiometria es sobre una base de masa.



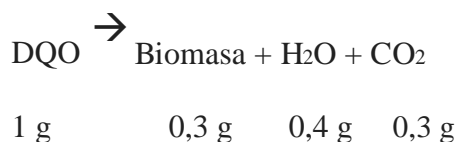
El coeficiente de rendimiento es:  $Y = 0,4$  mg de biomasa / mg de DBO.

$K_{max} = 0,08$  L/h a  $T = 20$  ° C

Theta = 1,04 (para tener en cuenta el impacto de las variaciones de temperatura).

$K_s = 5$  mg de DBO/L

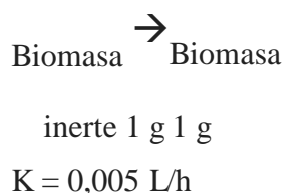
El segundo sustrato el DQO, la estequiometria es sobre una base de masa.



$K_{max} = 0,019$  L/h a  $T = 20$  ° C

Theta = 1,04 (para tener en cuenta el impacto de las variaciones de temperatura)

$K_s = 13,571$  mg DQO/L



#### 4.1.3.0 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El **afluente** se combina con la corriente de retorno de fangos (de lodo de reciclado) y se envía a una secuencia de dos tanques de aireación (AB-101 y AB-102) para la oxidación biológica del material orgánico. Cada tanque de aireación funciona a un tiempo de residencia hidráulica media de 6 horas y un tiempo de residencia medio de lodos de 18 a 22 horas. Un sistema de aireación de superficie se utiliza para mantener un mínimo de oxígeno disuelto (OD) a una concentración de 2 mg / l. Un clarificador

(CL-101) se utiliza para eliminar la biomasa y espesar a alrededor de 1 % en peso / peso de contenido de sólidos.

El efluente líquido del clarificador se trata adicionalmente usando un filtro de medio granular (GMF-101) para eliminar los componentes de partículas. El lodo retirado (S-116) se concentra hasta un 15 % (peso/peso) contenido de sólidos usando una prensa de filtro de cinta (BF-101). El agua extraída, que contiene pequeñas cantidades de biomasa y sólidos disueltos, se envía de nuevo al tanque de aireación. La corriente de lodo concentrada se deshidrata hasta una concentración final de sólidos de 35 % (peso/peso) utilizando un secador de lodos (SLD-101).

Los **compuestos orgánicos volátiles (COV)** cuando están presentes en las lagunas, tienden a volatilizarse desde los tanques abiertos y terminan en la atmósfera.

Regulaciones EPA de los EE.UU. actuales limitan las emisiones de COV de plantas de tratamiento para no más de 25 Megatoneladas por año (Van DURME, 1993) [64]. En el Pro -Designer se predice las emisiones de COV mediante modelos que son aceptados por la EPA.

Alrededor de 17,2 % de DQO total de entrada se emite desde el primer tanque de aireación. Una fracción más pequeña (alrededor de 3 % del total entrante) se emite desde el segundo tanque de aireación y una cantidad mínima (0,095 %) se emite desde el clarificador.

#### 4.1.4.0. BALANCE DE MATERIALES

En este acápite se muestra el balance de materiales de cada uno de los equipos del proceso de tratamiento de las aguas residuales en el sistema propuesto, todos ellos en kg/h. El afluente a tratar es de 24,7 MT/año considerando 330 días por año.

<b>Tabla 13 Balance Mezclador I</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Afluente	3125417,00	
Reciclado líquido I	541150,93	
Reciclado líquido II	229500,48	
<b>Subtotal</b>	<b>3896068,41</b>	<b>3896068,41</b>

<b>Tabla 14 Balance Bio-oxidador aerobio I</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Mezcla	3896068,42	
Aire (O <sub>2</sub> )	54997,56	
Emisión I		56550,13
Afluente		3894149,86
<b>Subtotal</b>	<b>3951065,98</b>	<b>3950699,99</b>

<b>Tabla 15 Balance Bio-oxidador aerobio II</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Mezcla	3894149,86	
Aire (O <sub>2</sub> )	54997,54	
Emisión I		55045,87
Afluente		3894101,53
<b>Subtotal</b>	<b>3949147,40</b>	<b>3949147,40</b>

<b>Tabla 16 Balance Mezclador II</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Mezcla	3949147,40	
Polímeros	51,12	
Emisión I		55045,87
Afluente		3894152,65
<b>Subtotal</b>	<b>3949198,52</b>	<b>3949198,50</b>

<b>Tabla 17 Balance Clarificador</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Mezcla	38947152,65	
Efluente		3121079,31
Emisión II		0,01
Remoción		773073,33
<b>Subtotal</b>	<b>38947152,65</b>	<b>3894152,65</b>

<b>Tabla 18 Balance Filtro</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Agua clarificada	3121079,31	
Agua	347,01	
Agua		416,41
Efluente		3121009,91
<b>Subtotal</b>	<b>3121426,32</b>	<b>3121426,32</b>

<b>Tabla 19 Balance Separador de flujos</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Remoción	773073,33	
Reciclado de lodo		541150,93
Reciclado líquido I		231921,83
<b>Subtotal</b>	<b>773073,33</b>	<b>773072,76</b>

<b>Tabla 20 Balance Cama de lodo</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Agua	12879,50	
Lodo		15300,84
Reciclado líquido I	231921,83	
Reciclado líquido II		229500,48
<b>Subtotal</b>	<b>244801,33</b>	<b>244801,32</b>

<b>Tabla 21 Balance general</b>		
kg/h		
	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Afluente	3125417,00	
Efluente		3121010,08
Polímeros	51,12	
Agua filtro granular	347,01	416,41
Agua cama filtro	12879,50	
Aire secador lodos	78065,46	86808,39
Emisión clarificador		0,01
Aire biooxidador I	54631,57	56550,13
Aire biooxidador II	54997,54	55042,67
Lodo seco		6561,51
<b>Subtotal</b>	<b>3326389,20</b>	<b>3326389,20</b>

## 4.2.0.0 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN ECONÓMICA

**Tabla 22 Resumen ejecutivo**

<b>Economic Evaluation Report</b>		March 5, 2015
<b>for PTAR 1</b>		
<b>1. EXECUTIVE SUMMARY (2014 prices)</b>		
Total Capital Investment	416,191,000 \$	
Capital Investment Charged to This Project	416,191,000 \$	
Operating Cost	109,329,000 \$/yr	
Processing Rate	24,753,302,640.00 kg MP/yr	
Unit Processing Cost	0.00 \$/kg MP	
Total Revenues	198,026,000 \$/yr	
Gross Margin	44.79 %	
Return On Investment	20.90 %	
Payback Time	4.78 years	
IRR (After Taxes)	13.83 %	
NPV (at 12.0% Interest)	40,882,000 \$	
MT = Metric Ton (1000 kg)		
MP = Total Flow of Stream Afluente		

**Tabla 23 Número de equipos, su especificación y costo unitario**

<b>2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2014 prices)</b>				
Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
6/1	MX-101	Mixer Size/Capacity = 649338.86 kg/h	12,000	84,000
2/1	AB-101	Aeration Basin Vessel Volume = 13744473.68 L	100,000	300,000
6/1	MX-102	Mixer Size/Capacity = 649019.52 kg/h	14,000	98,000
2/1	CL-101	Clarifier Surface Area = 1460.18 m <sup>2</sup>	120,000	360,000
2/1	AB-102	Aeration Basin Vessel Volume = 13742852.24 L	100,000	300,000
2/1	FSP-101	Flow Splitter Size/Capacity = 386518.69 kg/h	46,000	138,000
3/1	BF-101	Belt Filter Belt Width = 2.58 m	60,000	240,000
1/1	SLDR-101	Sludge Dryer Evaporative Capacity = 8742.93 kg/h	60,000	120,000
6/1	GMF-101	Granular Media Filter GM Volume = 1.62 m <sup>3</sup>	90,000	630,000
		Unlisted Equipment		567,000
		<b>TOTAL</b>		<b>2,836,000</b>



**Tabla 24 Costo de materia prima. Resumen del proceso**

<b>5. RAW MATERIALS COST - PROCESS SUMMARY</b>				
<b>Bulk Raw Material</b>	<b>Unit Cost (\$/kg)</b>	<b>Annual Amount (kg)</b>	<b>Annual Cost (\$)</b>	<b>%</b>
Oxygen	1.000	3,380,105	3,380,000	9.66
Polymer	0.500	404,854	202,000	0.58
Water	0.300	104,749,140	31,425,000	89.77
Air	0.000	618,249,711	0	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>726,783,809</b>	<b>35,007,000</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 25 Costo tratamiento de residuos y su disposición**

<b>7. WASTE TREATMENT/DISPOSAL COST (2014 prices) - PROCESS SUMMARY</b>				
<b>Waste Category</b>	<b>Unit Cost (\$/kg)</b>	<b>Annual Amount (kg)</b>	<b>Annual Cost (\$)</b>	<b>%</b>
Solid Waste		51,933,147	2,597,000	31.35
Lodo seco	0.050	51,933,147	2,597,000	31.34
Aqueous Liquid		24,718,401,749	0	0.00
Organic Liquid		0	0	0.00
Emissions		18,960,035	5,688,000	68.65
AB1-Emissiones	0.300	18,529,248	5,559,000	67.09
Clrf-Emissiones	0.000	11	0	0.00
AB2-Emissiones	0.300	430,776	129,000	1.56
<b>TOTAL</b>		<b>24,789,294,931</b>	<b>8,285,000</b>	<b>100.00</b>

En el resumen ejecutivo (tabla 22) se tiene un capital de inversión de \$ 416 191 000, un costo operativo de \$ 109 329 000 por año, un costo unitario en el proceso de \$ 0,00442 por kg de materia prima. El retorno de la inversión es al 20,90 % y un tiempo de retorno de aproximadamente 5 años, a una tasa de interés bancario de 12 % promedio.

En la tabla 23, se puede conocer el costo-criterio que se estableció para cada unidad operativa. Cabe hacer mención que estos costos se actualizan automáticamente por un factor que contiene el programa.

En la tabla 24 se establece el costo de los insumos que se utiliza en el proceso, siendo para el oxígeno \$ 1 por kg de materia prima, el polímero (Policloruro de aluminio-PAC) \$ 0,5 por kg de materia prima y el agua para el proceso a \$ 0,3 por kg de materia prima.

Con respecto a los costos de deriva el tratamiento de los residuos, se tiene que la disposición del lodo seco es de \$ 0,05 por kg de materia prima y las emisiones de los componentes volátiles de los tanques de biooxidación AB1 y AB2, se tiene \$ 0,3 por kg de materia prima para cada uno.

#### 4.3.0.0. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN AMBIENTAL

**Tabla 26 Tipo de generación de residuos**

##### 1. WASTE GENERATION BY TYPE

###### 1A Aqueous Waste

Component	kg/kg MP	kg/h	kg/año	%
DQO	0,000	0,994	7,870	0,000
Biomass	0,000	6,428	50,908	0,000
DeadBiomass	0,000	1,283	10,164	0,000
DBO	0,000	0,104	823,000	0,000
Polymer	0,000	23,363	185,034	0,000
Water	0,999	3 120 978,150	24 718 146,950	100,000
<b>Total</b>	<b>0,999</b>	<b>3 121 010,322</b>	<b>24 719 223,926</b>	<b>100,000</b>

###### 1B Organic waste

Component	kg/kg MP	kg/h	kg/año	%
<b>Total</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

<b>1C Solid Waste</b>				
<b>Component</b>	<b>kg/kg MP</b>	<b>kg/h</b>	<b>kg/año</b>	<b>%</b>
DQO	0,000	0,004	31,000	0,000
Biomass	0,001	1 889,941	14 968,336	28,830
DeadBiomass	0,000	377,325	2 988,411	5,750
DBO	0,000	0,000	3,000	0,000
Polymer	0,000	27,755	219,820	0,420
Water	0,001	4 262,191	33 756,546	65,000
<b>Total</b>	<b>0,002</b>	<b>6 557,216</b>	<b>51 967,113</b>	<b>100,000</b>

<b>1D Emissions</b>				
<b>Component</b>	<b>kg/kg MP</b>	<b>kg/h</b>	<b>kg/año</b>	<b>%</b>
DQO	0,000	317,276	2 512,829	13,250
Carb.Dioxide	0,001	1 649,886	13 067,101	68,920
Oxigen	0,000	426,781	3 380,105	17,830
<b>Total</b>	<b>0,001</b>	<b>2 393,943</b>	<b>18 960,035</b>	<b>100,000</b>

En la tabla 26 se aprecia, la contabilidad de los residuos generados y se tiene, para los residuos líquidos como el agua un 100 %, los residuos orgánicos 0 %, los residuos sólidos el más significativo es la biomasa que en su mayoría es materia fecal con un 28,83 % y en lo que respecta a las emisiones el dióxido de carbono con un 68,92 %.

## Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

### 5.1.0.0 CONCLUSIONES

El sistema del PTAR – Iquitos construido en el distrito de Punchana Nuevo Versalles, es un sistema híbrido que combina la biooxidación anaerobia y aerobia y trata el afluente con un volumen operativo de 3 125 417 kg/ h para un horizonte de 20 años hasta el 2027.

El caudal es de 1 817 856 kg/h en el año 2007, 2 571 228 kg/h al año 2017 y 3 125 417 al año 2027.

El diseño alternativo en el presente estudio, es un sistema de biooxidación exclusivamente aerobia que utiliza todos los parámetros operacionales del PTAR-Iquitos.

#### **Las conclusiones específicas encontradas fueron;**

1. Para los parámetros del análisis técnico de las aguas residuales son los siguiente:  
El caudal volumétrico promedio establecido en el diseño y la simulación es similar al valor otorgado por el PTAR de 505 L/s para una cobertura de saneamiento al 60% en el 2007 (en su fase inicial), 670 L/s al 70% en el 2017 y 872 L/s al 80% en el 2027. El pH, se mantiene en un rango operacional entre 6,5 a 8 unidades, la temperatura promedio es de 27°C, la demanda bioquímica de oxígeno en 50 g/hab-día, los sólidos totales en suspensión es de 90 g/hab-día, la eliminación total de aceites y grasas del afluente es al inicio del proceso, los coliformes fecales los que se encuentran entre 1,0E+08 y 1,2E+08 NPM/100ml.
2. El análisis económico reporta un capital de inversión de \$ 416 191 000 convertido a Nuevos soles a un cambio de 3 Nuevos Soles por dólar se tiene S/ 138 730 333, un costo operativo de \$ 109 329 000 por año (S/. 36 443 000). El tiempo de

retorno de la inversión es aproximadamente 5 años, a una tasa de interés bancario de 12 %.

3. Se ha determinado que dentro de los parámetros del análisis ambiental como son: residuos sólidos, residuos líquidos, residuos gaseosos (emisiones), los más significativos cuantitativamente, son la biomasa no inocua con un 28,83 % y el dióxido de carbono con un 68,98 % producto de la digestión aeróbica.
4. La elaboración del sistema de simulación del diseño propuesto para una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el uso del software Super pro Designer V6., consta de un mezclador, tanque de biooxidación anaerobia, clarificador, separador, filtros y cámara de secado de lodos.
5. La simulación del diseño propuesto converge en una serie finita de no más de 1000 interacciones de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Iquitos con la alternativa de biooxidación aerobia.
6. Al analizar los reportes técnico – económico – ambiental podemos decir que el proyecto es viable desde el punto de vista virtual.
7. Las ventajas que tiene el sistema propuesto del PTAR aeróbico usando sistemas de reactores de oxidación aeróbica, es que se usa como reactivo de oxidación la inyección de oxígeno procedente del aire que disminuye los costos en el proceso, además de utilizar reactivos químicos que conducen a otro tipo de proceso adicional para su eliminación

## **Conclusión general**

Se ha logrado elaborar el software para simular una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Iquitos mediante el uso del Super pro Designer V6, a las condiciones operativas del PTAR-Iquitos construido en el Distrito de Punchana Nuevo Versalles, así como se ha visto, su análisis técnico – económico – ambiental siendo factible en todos estos aspectos desde el punto de vista virtual.

### **5.2.0.0. RECOMENDACIONES**

Hacer uso del software elaborado en el desarrollo de la asignatura de simulación y automatización de procesos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **SUNASS** (2009). Registro de los volúmenes de aguas residuales- Lima
2. Idem [1]
3. Idem [1]
4. **OPPIP - GOREL** (2007). Proyecto de inversión -Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado e Instalación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos.
5. **ANA**. (2012). Informe Técnico. Resolución Jefatural N' 182-2011-ANA
6. Idem 4, página. 6
7. **FONAM** (2010). Marco legal en el Perú. Sector de saneamiento. Lima
8. **CORNEJO MIGUEL. (2006)** Tesis .Optimización de parámetros de operación de equipos, sistemas de generación y transporte de energía en la refinería Iquitos en la región de Loreto. UNAP.
9. **LLERENA TONY (2009)**, Tesis, Modelado y simulación de la planta piloto de alcohol de la Facultad de Ingeniería Química en la Región Loreto. UNAP
10. **NOLORBE MANUEL (2011)**, Tesis Modelado y simulación de un reactor químico con convección forzada en la Región Loreto. UNAP.
11. **MASS SOREGUI JUAN. Y RUIZ CACEREZ JUAN (2012)**, Tesis "Simulación del proceso de obtención de biodiesel a partir de piñón blanco (*Jatropha curcas*), utilizando software Chemcad, en la Región Loreto. Tesis, para optar el título de Ingeniero Químico. UNAP.
12. **PÉREZ SAUL. et al (2004)**, Tesis Programa de simulación de procesos para el tratamiento de emisiones atmosféricas en la ciudad de valencia. Universidad de Carabobo, Venezuela
13. **NAVARRO FRANCISCO. (2004)**. Desarrollo la utilización de simuladores en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. Universidad de la plata - Buenos aires Argentina

14. **VELASQUEZ MANUEL. (2013).** Tesis, Simulación de parámetros para la obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas de algodón y su análisis económico y ambiental, haciendo uso del Superpro Designer en la región Loreto. UNAP.
15. **DIAZ ARTURO, (2013).** Software para la radiación solar extraterrestre e irradiación solar para la Amazonía Peruana- Iquitos.
16. **VANN HAANDEL, A. y LETTINGA G. (1994)** Tratamiento Anaerobio de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande. Brasil [www.uasb.gov](http://www.uasb.gov)
17. **DÍAZ-BÁEZ, M.;** Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia
18. **WWW.UASB.ORG**
19. Idem [17]
20. **MADIGAN, M., MERTINKO, J. y PARKER, J. (1997)** Biology of Microorganisms. Prentice Hall. New Jersey, USA
21. Idem [16]
22. Idem [16]
23. **ZINDER, S. (1998)** Chapter 5. Methanogens. En: Burlage, R.S. et al, Techniques in Microbial Ecology. Oxford University Press. New York. 113-135
24. Idem [17]
25. Idem [23]
26. Idem [17]
27. Idem [18]
28. **GIBSON, G. (1990)** "Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria". A review. Journal Applied Bacteriology, 69:769-797
29. Idem [28]
30. Idem [17]
31. **ELFERIK (1994)**



32. [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_residuales&oldid=74065444](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_residuales&oldid=74065444)
33. **FONAM.** (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú” Diciembre 2010
34. Idem [33]
35. Idem [16]
36. Idem [16]
37. Idem [17]
38. **Norma técnica SO-90 – Perú**
39. <http://maps.google.com.pe/maps?hl=es&tab=wl>
40. **INEI, Perú (2013).** Principales Indicadores Departamentales 2006-2009, Lima, octubre 2010
41. **SENAMHI – Informe técnico 010 – 2012 –Iquitos –Perú**
42. [www.andina.com.pe/español/noticia/loreto](http://www.andina.com.pe/español/noticia/loreto) - soporta ola de calor, lluvias y friaje, informa Senamhi Andina. Consultado el 28 de septiembre de 2012.
43. [www.andina.com.pe/español/noticia/Un total de 52 viviendas fueron afectadas por ventarrón La Región.](http://www.andina.com.pe/español/noticia/Un_total_de_52_viviendas_fueron_afectadas_por_ventarrón_La_Región) Consultado el 28 de septiembre de 2012.
44. [www.andina.com.pe/español/noticia/Altísima temperatura combinada con lluvias signo del cambio climático.](http://www.andina.com.pe/español/noticia/Altísima_temperatura_combinada_con_lluvias_signo_del_cambio_climático) La Región. 2 de noviembre de 2012. Consultado el 2 de noviembre de 2012.
45. [www.andina.com.pe/español/noticia/Martha Rodríguez Achung](http://www.andina.com.pe/español/noticia/Martha_Rodríguez_Achung) (julio de 1994). «Crecimiento Urbano de Iquitos: Condicionamientos Estructurales en la década del '70 y sus Perspectivas». *IIAP*. Consultado el 4 de agosto de 2012.
46. Idem [4]
47. **Resolución Directoral Nro 117·2012·ANA·DGCRH**, con fecha, Lima, 28 de Agosto del 2012
48. **DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM – LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**
49. **RESOLUCIÓN JEFATURAL N' 182-2011-ANA**

50. **RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nro 117-2012 – ANA**
51. **RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 202-201 O –ANA**
52. OFICINA REGIONAL DE CONTROL INSTITUCIONAL DEL GOBIERNO REGIONAL DE LORETO
53. **SHANNON, ROBERT; JOHANNES, JAMES D.** (1976). Systems simulation: the art and science. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics **6(10)**. pp. 723-724. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4309432](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4309432).
54. **GALÁN, JOSÉ M.; IZQUIERDO, LUIS R.; IZQUIERDO, SEGISMUNDO S.; SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO; LÓPEZ-PAREDES, ADOLFO; EDMONDS, BRUCE** (2009). Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling. Journal of Artificial Societies and Social Simulation **12(1)**. 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>.
55. Idem [54]
56. **IZQUIERDO, LUIS R.; GALÁN, JOSÉ M.; SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO** (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales **16**. pp. 85-112
57. <http://Simulación - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht>
58. **INTELIGEN INC, (2009)** Manual tutorial. Software Super pro Designer.
59. **RESUMEN EJECUTIVO 011 EMPRESA ECHE INGENIEROS S.R.L 2007**
60. Idem [59]
61. Idem [58]
62. **INEI, (2013)**, Información estadística de la población de Iquitos.

## **BIBLIOGRAFIA**

**ANA.** (2012). Informe Técnico. Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA

**CORNEJO MIGUEL.** (2006) Tesis .Optimización de parámetros de operación de equipos, sistemas de generación y transporte de energía en la refinería Iquitos en la región de Loreto. UNAP.

**DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM – LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

**DIAZ ARTURO,** (2013). Software para la radiación solar extraterrestre e irradiación solar para la Amazonía Peruana- Iquitos.

**DÍAZ-BÁEZ, M.;** Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia

ELFERIK (1994)

**FONAM** (2010). Marco legal en el Perú. Sector de saneamiento. Lima

**FONAM.** (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú” Diciembre 2010

**GALÁN, JOSÉ M.; IZQUIERDO, LUIS R.; IZQUIERDO, SEGISMUNDO S.; SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO; LÓPEZ-PAREDES, ADOLFO; EDMONDS, BRUCE** (2009). Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling. Journal of Artificial Societies and Social Simulation **12(1)**. 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>.

**GIBSON, G. (1990)** “Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria”. A review. Journal Applied Bacteriology, 69:769-797

<http://maps.google.com.pe/maps?hl=es&tab=wl>

<http://Simulación - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht>

[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_residuales&oldid=74065444](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_residuales&oldid=74065444)

**INEI**, (2013), Información estadística de la población de Iquitos.

**INEI, Perú (2013)**. Principales Indicadores Departamentales 2006-2009, Lima, octubre 2010

**INTELIGEN INC, (2009)** Manual tutorial. Software Super pro Designer.

**IZQUIERDO, LUIS R.; GALÁN, JOSÉ M.; SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO** (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales* **16**. pp. 85-112

**LLERENA TONY (2009)**, Tesis, Modelado y simulación de la planta piloto de alcohol de la Facultad de Ingeniería Química en la Región Loreto. UNAP

**MADIGAN, M., MERTINKO, J. y PARKER, J.** (1997) *Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. New Jersey, USA

**MASS SOREGUI JUAN. Y RUIZ CACEREZ JUAN (2012)**, Tesis "Simulación del proceso de obtención de biodiesel a partir de piñón blanco (*Jatropha curcas*), utilizando software Chemcad, en la Región Loreto. Tesis, para optar el título de Ingeniero Químico. UNAP.

**NAVARRO FRANCISCO. (2004)**. Desarrollo la utilización de simuladores en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. Universidad de la plata - Buenos aires Argentina

**NOLORBE MANUEL (2011)**, Tesis Modelado y simulación de un reactor químico con convección forzada en la Región Loreto. UNAP.

**Norma técnica SO-90 – Perú**

OFICINA REGIONAL DE CONTROL INSTITUCIONAL DEL GOBIERNO REGIONAL  
DE LORETO

**OPPIP - GOREL** (2007). Proyecto de inversión -Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado e Instalación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos.

**PÉREZ SAUL. et al (2004)**, Tesis Programa de simulación de procesos para el tratamiento de emisiones atmosféricas en la ciudad de Valencia. Universidad de Carabobo, Venezuela

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nro 117·2012 – ANA**

**Resolución Directoral Nro 117·2012·ANA·DGCRH**, con fecha, Lima, 28 de Agosto del 2012

**RESOLUCIÓN JEFATURAL N' 182-2011-ANA**

**RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 202-201 O –ANA**

**RESUMEN EJECUTIVO 011 EMPRESA ECHE INGENIEROS S.R.L 2007**

**SENAMHI** – Informe técnico 010 – 2012 –Iquitos –Perú

**SHANNON, ROBERT; JOHANNES, JAMES D.** (1976). Systems simulation: the art and science. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics **6(10)**. pp. 723-724. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4309432](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4309432).

**SUNASS** (2009). Registro de los volúmenes de aguas residuales- Lima

**VANN HAANDEL, A. y LETTINGA G.** (1994) Tratamiento Anaerobio de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande. Brasil [www.uasb.gov](http://www.uasb.gov)

**VELASQUEZ MANUEL. (2013).** Tesis, Simulación de parámetros para la obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas de algodón y su análisis económico y ambiental, haciendo uso del Superpro Designer en la región Loreto. UNAP.

**www.andina.com.pe/español/noticia/Altísima temperatura combinada con lluvias signo del cambio climático.** La Región. 2 de noviembre de 2012. Consultado el 2 de noviembre de 2012.

**www.andina.com.pe/español/noticia/loreto - soporta ola de calor, lluvias y friaje, informa Senamhi Andina.** Consultado el 28 de septiembre de 2012.

**www.andina.com.pe/español/noticia/Martha Rodríguez Achung (julio de 1994).** «Crecimiento Urbano de Iquitos: Condicionamientos Estructurales en la década del '70 y sus Perspectivas». *IIAP*. Consultado el 4 de agosto de 2012.

**www.andina.com.pe/español/noticia/Un total de 52 viviendas fueron afectadas por ventarrón** La Región. Consultado el 28 de septiembre de 2012.

## **WWW.UASB.ORG**

**ZINDER, S. (1998)** Chapter 5. Methanogens. En: Burlage, R.S. et al, Techniques in Microbial Ecology. Oxford University Press. New York. 113-135

# ANEXO 01

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Adsorción:** Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

**Absorción:** Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

**Acidez:** La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

**Acuífero:** Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

**Aeración:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

**Aeración mecánica:** Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.

**Aeración prolongada:** Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aeración

**Adensador (Espesador):** Tratamiento para remover líquido de los lodos y reducir su volumen.

**Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

**Agua residual:** Agua que no tiene un valor inmediato para algún propósito por el que se produjo, debido a su calidad y cantidad en el momento en que se dispone de ella y se conocen dos tipos: domésticas e industriales.

**Agua residual doméstica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

**Agua residual municipal:** Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

**Agua residual industrial:** Son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso.

**Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

**Análisis:** El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

**Aplicación en el terreno:** Aplicación de agua residual o lodos parcialmente tratados, bajo condiciones controladas, en el terreno.

**Bacterias:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que interviene en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

**Bases de diseño:** Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes.

**Biodegradación:** Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por la acción de microorganismos.



**Biopelícula:** Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

**By-pass:** Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

**Cámara de contacto:** Tanque alargado en el que el agua residual tratada entra en contacto con el agente desinfectante.

**Carbón activado:** Gránulos carbonáceos que poseen una alta capacidad de remoción selectiva de compuestos solubles, por adsorción.

**Carga del diseño:** Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

**Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

**Caudal pico:** Caudal máximo en un intervalo dado.

**Caudal máximo horario:** Caudal a la hora de máxima descarga.

**Caudal medio:** Promedio de los caudales diarios en un período determinado.

**Certificación:** Programa de la entidad de control para acreditar la capacidad del personal de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento.

**Clarificación:** Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

**Cloración:** Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.

**Coagulación:** Aglomeración de partículas coloidales (< 0,001 mm) y dispersas (0,001 a 0,01 mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

**Coagulante:** Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

**Coliformes:** Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a  $35 \pm 0,5$  °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a  $44,5 \pm 0,2$  °C en 24 horas se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

**Compensación:** Proceso por el cual se almacena agua residual y se amortigua las variaciones extremas de descarga, homogenizándose su calidad y evitándose caudales pico.

**Criba gruesa:** Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm) para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

**Criba Media:** Estructura de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4 cm) para remover sólidos flotantes y en suspensión; generalmente se emplea en el tratamiento preliminar.

**Criterios de diseño:** Guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema.

**Cuneta de coronación:** Canal abierto, generalmente revestido, que se localiza en una planta de tratamiento con el fin de recolectar y desviar las aguas pluviales.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

**Densidad de energía:** Relación de la potencia instalada de un aerador y el volumen, en un tanque de aeración, laguna aireada o digestor aerobio.

**Depuración de aguas residuales:** Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

**Derrame accidental:** Descarga directa o indirecta no planificada de un líquido que contiene sustancias indeseables que causan notorios efectos adversos en la calidad del cuerpo receptor. Esta descarga puede ser resultado de un accidente, efecto natural u operación inapropiada.

**Desarenadores:** Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

**Descarga controlada:** Regulación de la descarga del agua residual cruda para eliminar las variaciones extremas de caudal y calidad.

**Desecho ácido:** Descarga que contiene una apreciable cantidad de acidez y pH bajo.

**Desecho peligroso:** Desecho que tiene una o más de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o infeccioso.

**Desecho industrial:** Desecho originado en la manufactura de un producto específico.

**Deshidratación de lodos:** Proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

**Desinfección:** La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

**Difusor:** Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

**Digestión:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

**Digestión aerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.

**Digestión anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.

**Disposición final:** Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento.

**Distribuidor rotativo:** Dispositivo móvil que gira alrededor de un eje central y está compuesto por brazos horizontales con orificios que descargan el agua residual sobre un filtro biológico. La acción de descarga de los orificios produce el movimiento rotativo.

**Edad del lodo:** Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes en el tanque de aeración dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.

**Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

**Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**Efluente final:** Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Emisario submarino:** Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pre tratadas en el mar.

**Emisor:** Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final.

**Examen bacteriológico:** Análisis para determinar y cuantificar el número de bacterias en las aguas residuales.

**Factor de carga:** Parámetro operacional y de diseño del proceso de lodos activados que resulta de dividir la masa del sustrato (kg DBO/d) que alimenta a un tanque de aeración, entre la masa de microorganismos en el sistema, representada por la masa de sólidos volátiles.

**Filtro biológico:** Sinónimo de “filtro percolador”, “lecho bacteriano de contacto” o “biofiltro”.

**Filtro percolador:** Sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

**Fuente no puntual:** Fuente de contaminación dispersa.

**Fuente puntual:** Cualquier fuente definida que descarga o puede descargar contaminantes.

**Grado de tratamiento:** Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reuso.

**Igualación:** Ver compensación.

**Impacto ambiental:** Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

**Impermeable:** Que impide el paso de un líquido.

**Interceptor:** Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento.

**Irrigación superficial:** Aplicación de aguas residuales en el terreno de tal modo que fluyan desde uno o varios puntos hasta el final de un lote.

**Índice Volumétrico de lodo (IVL):** Volumen en mililitros ocupado por un gramo de sólidos, en peso seco, de la mezcla lodo / agua tras una sedimentación de 30 minutos en un cilindro graduado de 1000 ml.

**Laguna aerada:** Estanque para el tratamiento de aguas residuales en el cual se inyecta oxígeno por acción mecánica o difusión de aire comprimido.

**Laguna aerobia:** Estanque con alta producción de biomasa.

**Laguna anaerobia:** Estanque con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno. Este tipo de laguna requiere tratamiento posterior complementario.

**Laguna de alta producción de biomasa:** Estanque normalmente de forma alargada, con un corto período de retención, profundidad reducida y con facilidades de mezcla que maximizan la producción de algas. (Otros términos utilizados pero que están tendiendo al desuso son:

“laguna aerobia”, “laguna fotosintética” y “laguna de alta tasa”).

**Laguna de estabilización:** Estanque en el cual se descarga aguas residuales y en donde se produce la estabilización de materia orgánica y la reducción bacteriana.

**Laguna de descarga controlada:** Estanque de almacenamiento de aguas residuales tratadas, normalmente para el reuso agrícola, en el cual se embalsa el efluente tratado para ser utilizado en forma discontinua, durante los períodos de mayor demanda.

**Laguna de lodos:** Estanque para almacenamiento, digestión o remoción del líquido del lodo.

**Laguna de maduración:** Estanque de estabilización para tratar el efluente secundario o aguas residuales previamente tratadas por un sistema de lagunas, en donde se produce una reducción adicional de bacterias. Los términos “lagunas de pulimento” o “lagunas de acabado” tienen el mismo significado.

**Laguna facultativa:** Estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno, y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia.

**Lechos bacterianos de contacto:** (Sinónimo de “filtros biológicos” o “filtros percoladores”).

**Lecho de secado:** Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

**Licor mezclado:** Mezcla de lodo activado y desecho líquido, bajo aeración en el proceso de lodos activados.

**Lodo activado:** Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.

**Lodo activado de exceso:** Parte del lodo activado que se retira del proceso de tratamiento de las aguas residuales para su disposición posterior (vg. espesamiento, digestión o secado).

**Lodo crudo:** Lodo retirado de los tanques de sedimentación primaria o secundaria, que requiere tratamiento posterior (espesamiento o digestión).

**Lodo digerido:** Lodo mineralizado a través de la digestión aerobia o anaerobia.

**Manejo de aguas residuales:** Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

**Medio filtrante:** Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

**Metales pesados:** Elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, en cadmio, plomo) generalmente tóxicos, bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

**Mortalidad de las bacterias:** Reducción de la población bacteriana normalmente expresada por un coeficiente cinético de primer orden en  $d^{-1}$ .

**Muestra compuesta:** Combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.

**Muestra puntual:** Muestra tomada al azar a una hora determinada, su uso es obligatorio para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

**Muestreador automático:** Equipo que toma muestras individuales, a intervalos predeterminados.

**Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

**Nematodos intestinales:** Parásitos (Áscaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Necator americanus y Ancylostoma duodenale, entre otros) cuyos huevos requieren de un período latente de desarrollo antes de causar infección y su dosis infectiva es mínima (un organismo). Son considerados como los organismos de mayor preocupación en cualquier esquema de reutilización de aguas residuales. Deben ser usados como microorganismos indicadores de todos los agentes patógenos sedimentables, de mayor a menor tamaño (incluso quistes amibianos).

**Nutriente:** Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.

**Obras de llegada:** Dispositivos de la planta de tratamiento inmediatamente después del emisor y antes de los procesos de tratamiento.

**Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido.

**Parásito:** Organismo protozoario o nematodo que habitando en el ser humano puede causar enfermedades.

**Período de retención nominal:** Relación entre el volumen y el caudal efluente.

**pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

**Planta de tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.



**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

**Población equivalente:** La población estimada al relacionar la carga de un parámetro (generalmente DBO, sólidos en suspensión) con el correspondiente aporte per cápita (g DBO/(hab-día) o g SS/ (hab-día).

**Policloruro de aluminio:** Es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas y es ampliamente utilizado en un sin fin de procesos industriales. El policloruro de aluminio es utilizado principalmente para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y otras sales inorgánicas convencionales no polimerizadas.

**Porcentaje de reducción:** Ver eficiencia del tratamiento.

**Pretratamiento:** Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

**Proceso biológico:** Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.

**Proceso de lodos activados:** Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.

**Reactor anaerobio de flujo ascendente:** Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula en forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto.

**Requisito de oxígeno:** Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.

**Reuso de aguas residuales:** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

**Sedimentación final:** Ver sedimentación secundaria.

**Sedimentación primaria:** Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

**Sedimentación secundaria:** Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

**Sistema combinado:** Sistema de alcantarillado que recibe aguas de lluvias y aguas residuales de origen doméstico o industrial.

**Sistema individual de tratamiento:** Sistema de tratamiento para una vivienda o un número reducido de viviendas.

**Sólidos activos:** Parte de los sólidos en suspensión volátiles que representan a los microorganismos.

**SSVTA:** Sólidos en suspensión volátiles en el tanque de aeración.

**Tanque séptico:** Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas que combina la sedimentación y la digestión. El efluente es dispuesto por percolación en el terreno y los sólidos sedimentados y acumulados son removidos periódicamente en forma manual o mecánica.

**Tasa de filtración:** Velocidad de aplicación del agua residual a un filtro.

**Tóxicos:** Elementos o compuestos químicos capaces de ocasionar daño por contacto o acción sistémica a plantas, animales y al hombre.

**Tratamiento avanzado:** Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

Remoción de sólidos en suspensión (microcribado, clarificación química, filtración, etc.);

Remoción de complejos orgánicos disueltos (absorción, oxidación química, etc.);

Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.);

Remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.).

**Tratamiento anaerobio:** Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

**Tratamiento biológico:** Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

**Tratamiento convencional:** Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluye la desinfección mediante cloración. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

**Tratamiento conjunto:** Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en la misma planta.

**Tratamiento de lodos:** Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

**Tratamiento en el terreno:** Aplicación sobre el terreno de las aguas residuales parcialmente tratadas con el fin de alcanzar un tratamiento adicional.

**Tratamiento preliminar:** Ver pre tratamiento.

**Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

**Tratamiento químico:** Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

**Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

**Tratamiento terciario:** Tratamiento adicional al secundario. Ver tratamiento avanzado.

## Anexo 2

### SIMULATION MODEL

(Extraído del software)

#### Environmental Reaction Operations

##### Well-Mixed (WM) Aerobic BioOxidation

This unit operation model simulates transformation (e.g., bio-oxidation, chemical oxidation, hydrolysis, photolysis, nitrification, sorption, etc.) of organic and other compounds in a well-mixed tank under aerobic conditions. Any number of reactions can be specified with a variety of kinetic expressions. The stoichiometry of a reaction is specified on a mass or molar basis while the reaction rate is specified by selecting appropriate expressions for the substrate term, the other term (e.g., oxygen), and the biomass term. The reaction rate constant is either specified by the user or retrieved from the component databank for biochemical oxidation reactions that follow Monod-type of kinetics. The various reactions may be based on different biomass components. For instance, heterotrophic biomass may be used for biochemical oxidation reactions and autotrophic biomass for nitrification reactions. Biomass death and hydrolysis reactions may be written to keep track of the active and dead fractions of biomass components.

##### Equipment Sizing

In Design Mode of calculation, the user specifies the hydraulic residence time ( $t_R$ ) and the working to vessel volume ratio. The working (liquid) volume ( $V_w$ ) and the vessel volume ( $V$ ) are calculated using the following equations:

$$V_w = F * t_R$$

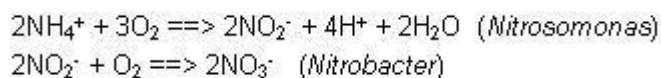
$$V = V_w / (\text{Working to Vessel Volume Ratio})$$

Where (F) is the feed volumetric flowrate. If the calculated vessel volume exceeds its maximum possible value (specified through the Equipment tab), the system assumes multiple, identical units operating in parallel with a total vessel volume equal to the calculated. The tank depth is always specified by the user. Then, using the Length/Width ratio, the program calculates all the dimensions of the tank(s).

In Rating Mode, the user specifies the vessel volume and the working to vessel volume ratio and the program calculates the hydraulic residence time.

### Nitrification Reactions

Nitrification is the biological oxidation of ammonia to nitrate with nitrite formation as an intermediate. Nitrification may occur in aeration basins along with other oxidation reactions if the sludge residence time is large enough to prevent wash out of the nitrifying microorganisms. The microorganisms involved are the autotrophic species *Nitrosomonas* and *Nitrobacter*, which carry out the reaction in two steps (Eckenfelder, 1989):



The rate of nitrification has been reported in the literature (Wong-Chong and Loeh, 1975) as essentially constant with overall biomass concentrations (as VSS) up to 1500 mg/l and decreases above that level. An average nitrification rate, at 20 °C, is around 1.04 mg NH<sub>3</sub>-N oxidized per milligram of nitrifying microbial mass per day. Note that it is easy to express nitrification rates based on nitrifying biomass (autotrophs) if you specify a component (during component initialization) representing nitrifying biomass. Like all biochemical reactions, the rate of nitrification is temperature-dependent with  $\theta$  in the range of 1.03 to 1.15.

### VOC Emissions

The aeration basin model handles VOC emission calculations. Different models exist for surface and diffused aeration that are mass transfer and equilibrium limited, respectively.

### Sorption

In terms of sorption, you may specify the fraction of a component that adsorbs on the primary biomass component. The program, then, keeps track of the fraction in solution throughout the flowsheet with the "Extra-Cell %" term. The "Extra-Cell %" term represents the percentage of a component that is in solution while 100 - "Extra-Cell %" represents the adsorbed portion of a component.

### Material Balances

For steady-state operation of an aeration basin, the general material balance equation for a component that biodegrades and is emitted is given by the following equation:

$$0 = (\text{Input}) - (\text{Output}) - \left( \begin{array}{c} \text{Biochemical} \\ \text{Oxidation} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Surface} \\ \text{Volatilization} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Diffused} \\ \text{Air} \\ \text{Stripping} \end{array} \right)$$

$$\text{or} \quad 0 = QC_{in} - QC - Vr_b - K_L aVC - Q_a K_{eq} CF_{st}$$

where Q is the liquid flow rate, V is the reactor volume, Cin is the inlet concentration, C is the outlet concentration which is the same as the concentration in the reactor, rb is the biodegradation rate, KLa is the overall mass transfer coefficient, Qa is the air flow rate (in case of diffused aeration), Keq is the equilibrium constant, and Fst is the saturation term (it represents the extent of saturation of the exiting gas stream). In general, the biodegradation rate is a function of substrate concentration, oxygen concentration, and biomass concentration. Various expressions are available for the effect of substrate. The overall equation with a Monod-type substrate expression is written as follows:

$$r_b = K_{max} \left( \frac{C}{K_s + C} \right) \left( \frac{C_o}{K_o + C_o} \right) X$$

where Kmax is the maximum rate constant, Ks is the half saturation constant for the substrate, Co is the oxygen concentration, Ko is the half saturation constant for oxygen, and X is the biomass concentration. Alternative expressions for the substrate and oxygen terms

are also available. The component databank includes data for Kmax and Ks for a large number of chemical components.

The overall mass transfer coefficient of a VOC component is estimated as a function of the oxygen mass transfer coefficient in wastewater, using a proportionality coefficient,  $\psi_M$ . In other words:

$$(k_1 a)_{\text{VOC}} = \psi_M (k_1 a)$$

The value of  $(K_L a)_{\text{O}_2}$  in the wastewater is a user input to the program.  $\psi$  is given by the following equation (Hsieh et. al., 1993):

$$\psi_M = \psi \left\{ 1 + \frac{1}{H_c \frac{k_g a}{k_1 a}} \right\}^{-1}$$

$\psi$  is the dimensionless transfer coefficient proportionality constant and it is calculated by the following equation (Corsi and Card, 1991):

$$\psi = \left\{ \frac{D_{\text{VOC}}}{D_{\text{O}_2}} \right\}^n$$

where  $D_{\text{VOC}}$  and  $D_{\text{O}}$  are the liquid diffusion coefficients for a VOC and oxygen in (m<sup>2</sup>/s), respectively. The exponent  $n$  varies from 0.5 for penetration and surface renewal theories to 1.0 for two-film theory (Corsi and Card, 1991) and is typically 0.5 to 0.6 (Mihelcic et. al., 1993). The diffusion coefficients of VOC components are retrieved from the component databank of the program.



$K_{ga}$  and  $K_{la}$  are the individual mass transfer coefficients of the VOC in the gas and liquid phases, respectively, in (s<sup>-1</sup>). For mechanically aerated systems, the value of:

$$\frac{k_g a}{k_l a}$$

is estimated using the following empirical equation (Hsieh et. al., 1993):

$$\log \left( \frac{k_g a}{k_l a} \right) = -0.39664 \log_{10} (P / V) + 2.6776$$

(P/V) represents the mechanical power consumed for surface aeration divided by the liquid volume of the aeration basin and it is calculated by the program. Alternatively, you have the option to set the value of  $k_{ga}/k_{la}$  or set the value of the term in parenthesis (denoted by RI/Rt on the emission i/o dialog window).

For diffused aerated systems, the  $F_{st}$  term is calculated by the following equation:

$$F_{st} = 1 - \exp\left(\frac{\psi_M (K_L a)_{O_2} V}{H_c Q_g}\right)$$

To calculate  $\psi$ , you have the option to set either the  $k_{ga}/k_{la}$  ratio or the term in parenthesis (called RI/Rt on the emission i/o dialog window).

The equilibrium constant is estimated by:

$$K_{eq} = \frac{H_c}{RT}$$

where  $H_c$  is Henry's law constant, R is the universal gas constant, and T is temperature.

The above equations written for each chemical component entering an aeration basin constitute a set of non-linear equations, which is solved numerically to calculate the exit concentration and the emission rate of each component.

## Anexo 3

Para validar el software de simulación, se ha tomado en cuenta las opiniones de un grupo de profesionales y expertos dedicados al uso, la elaboración y evaluación de softwares quienes comentan textualmente:

**Fernando Salas Barrera**, Ingeniero Químico, Maestría en Ciencias de la Ingeniería química, profesor en la Facultad de Ingeniería de sistemas e Informática y de la Facultad de Ingeniería Química en la UNAP, con experiencia en el diseño de paquetes informáticos para Ingeniería, señala que;

*“con la demostración de la funcionalidad y la repetitividad de los datos, considero que con este software se contribuirá con un soporte muy valioso en la simulación de la información en lo que respecta al proceso para el tratamiento de aguas residuales como una forma comparativa con el sistema real instalado por el Gobierno Regional de Loreto.....es un buen comienzo tomando como partida la información básica de la Ingeniería; espero que sea de mucha utilidad para la enseñanza en la Facultad ”*

**Carlos Avalos Ruiz**, Ingeniero de Sistemas e Informática, Magister en Informática, ex catedrático en la Facultad de Ingeniería de Sistema e informática, con experiencia en la evaluación de paquetes informáticos, señala;

*“el software elaborado en la plataforma de Superpro Designer es una herramienta muy valiosa para el ensayo virtual en el proceso de tratamiento de aguas residuales, tanto que he sido testigo de la velocidad con que se realizan los cálculos para simular, partiendo de pocas variables de entrada como son: el flujo másico y algunos parámetros termodinámicos de temperatura, ph, DBO y DQO, la concentración del oxígeno, con el cual, se calculan los valores de salida en el balance de materia, estoy muy convencido que esta herramienta será un aporte importante en la enseñanza de la asignatura de simulación de procesos en la Facultad de Ingeniería Química de la*

*Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*

## **LISTADOS DE TABLAS, CUADROS, FIGURAS, GRÁFICOS, ESQUEMAS Y FOTOS**

Páginas

### **Tablas**

Tabla 1. Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia de la Materia Orgánica	19
Tabla 2. Guía de valores para la remoción en el tratamiento de aguas residuales	49
Tabla 3 Características hidrológicas promedio 1969 – 2012	53
Tabla 4 Límites máximos permisibles para los efluentes de un PTAR	69
Tabla 5 Puntos de control de entradas y salidas de efluentes	70
Tabla 6 Descripción de efluentes	71
Tabla 7 Costos de inversión de las unidades operativas	73
Tabla 8 Distribución de fuentes de financiamiento	73
Tabla 9 Parámetros operacionales base de diseño del PTAR	85
Tabla 10 Población urbana estimada para la ciudad de Iquitos	86
Tabla 11 Población estimada. Horizonte de 20 años	92
Tabla 12 Componentes químicos y biológicos del afluente	94
Tabla 13 Balancee mezclador 1	97
Tabla 14 Balance Bio – oxidador aerobio 1	97
Tabla 15 Balance Bio - oxidador aerobio 2	97
Tabla 16 Balance mezclador 2	98
Tabla 17 Balance clarificador	98

Tabla 18 Balance filtro	98
Tabla 19 Balance separador de flujo	98
Tabla 20 Balance cama de lodos	99
Tabla 21 Balance general	99
Tabla 22 Resumen ejecutivo	100
Tabla 23 Número de equipos, especificación y costo unitario	100
Tabla 24 Costo de materia prima – Resumen del proceso	101
Tabla 25 Costo de tratamiento de residuos y su disposición	101
Tabla 26 Tipo de generación de residuos	102

### **Cuadros**

Cuadro 01. Marco legal en el Perú para el sector saneamiento.	06
Cuadro 02 Sumario de Otros Procesos Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales	38
Cuadro 03 Aportes per cápita Para aguas residuales domésticas	47
Cuadro 04 Población proyectada de Loreto	52
Cuadro 05 Población estimada de la Ciudad de Iquitos	84

## **Figuras**

Figura 01 Ubicación de empresas prestadoras de servicios de saneamiento en el Perú	04
Figura 02 Planta de tratamiento de aguas proyectado	05
Figura 03 Balance anaerobio de la DQO	16
Figura 04 Balance aerobio	22
Figura 05 Secuencia completa de tratamiento de aguas	37
Figura 06 Procesos de lodos activos	40
Figura 07 Diseño de tanques de digestión anaeróbica	43
Figura 08 Diseños de sistemas anaeróbicos. Primera generación	44
Figura 09 Diseños de sistema anaeróbicos. Segunda Generación	44
Figura 10 Diseño de un reactor fluidizado	45
Figura 11 Mapa del departamento de Loreto	51
Figura 12 Ubicación geográfica de la ciudad de Iquitos	52

## **Gráficos**

Gráfico 01 Empresas de prestación de servicios de saneamiento	03
Gráfico 02 Registro histórico de la tendencia del río Amazonas	54

## **Esquemas**

Esquema 01 Metabolismo bacteriano	14
Esquema 02 Degradación de la materia biológica	15
Esquema 03 Etapas de la digestión anaerobia	18
Esquema 04 Reducción biológica de sulfato	23
Esquema 05 Sulfato de reducción en la degradación de la materia	24

## **Fotos**

Foto 1. Colocación de pilones	68
Foto 2 Construcción de oxidación y percoladores	68

## **BIBLIOGRAFIA**

**ANA.** (2012). Informe Técnico. Resolución Jefatural N' 182-2011-ANA

**CORNEJO MIGUEL. (2006)** Tesis .Optimización de parámetros de operación de equipos, sistemas de generación y transporte de energía en la refinería Iquitos en la región de Loreto. UNAP.

**DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM – LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES**

**DIAZ ARTURO, (2013).** Software para la radiación solar extraterrestre e irradiación solar para la Amazonía Peruana- Iquitos.

**DÍAZ-BÁEZ, M.;** Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia

**ELFERIK (1994)**

**FONAM (2010).** Marco legal en el Perú. Sector de saneamiento. Lima

**FONAM.** (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú” Diciembre 2010

**GALÁN, JOSÉ M.; IZQUIERDO, LUIS R.; IZQUIERDO, SEGISMUNDO S.;**  
**SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO; LÓPEZ-PAREDES, ADOLFO;**  
**EDMONDS, BRUCE (2009).** *Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling.* *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **12(1)**. 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>.  
**GIBSON, G. (1990)** “Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria”. A review. *Journal Applied Bacteriology*, 69:769-797

<http://maps.google.com.pe/maps?hl=es&tab=wl>

<http://Simulación - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht>

[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_residuales&oldid=74065444](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_residuales&oldid=74065444)

**INEI,** (2013), Información estadística de la población de Iquitos.



**INEI, Perú (2013).** Principales Indicadores Departamentales 2006-2009, Lima, octubre 2010

**INTELIGEN INC, (2009)** Manual tutorial. Software Super pro Designer.

**IZQUIERDO, LUIS R.; GALÁN, JOSÉ M.; SANTOS, JOSÉ I.; DEL OLMO, RICARDO** (2008). [Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas.](#) *Empiria*. Revista de Metodología de Ciencias Sociales **16**. pp. 85-112

**LLERENA TONY (2009)**, Tesis, Modelado y simulación de la planta piloto de alcohol de la Facultad de Ingeniería Química en la Región Loreto. UNAP

**MADIGAN, M., MERTINKO, J. y PARKER, J.** (1997) *Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. New Jersey, USA

**MASS SOREGUI JUAN. Y RUIZ CACEREZ JUAN (2012)**, Tesis “Simulación del proceso de obtención de biodiesel a partir de piñón blanco (*Jatropha curcas*), utilizando software Chemcad, en la Región Loreto. Tesis, para optar el título de Ingeniero Químico. UNAP.

**NAVARRO FRANCISCO. (2004).** Desarrollo la utilización de simuladores en plantas de tratamiento de efluentes líquidos. Universidad de la plata - Buenos aires Argentina

**NOLORBE MANUEL (2011)**, Tesis Modelado y simulación de un reactor químico con convección forzada en la Región Loreto. UNAP.

**Norma técnica SO-90 – Perú**

**OFICINA REGIONAL DE CONTROL INSTITUCIONAL DEL GOBIERNO REGIONAL  
DE LORETO**

**OPPIP - GOREL (2007).** Proyecto de inversión -Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado e Instalación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Iquitos.

**PÉREZ SAUL. et al (2004),** Tesis Programa de simulación de procesos para el tratamiento de emisiones atmosféricas en la ciudad de Valencia. Universidad de Carabobo, Venezuela

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL Nro 117-2012 – ANA**

**Resolución Directoral Nro 117-2012-ANA-DGCRH,** con fecha, Lima, 28 de Agosto del 2012

**RESOLUCIÓN JEFATURAL N' 182-2011-ANA**

**RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 202-201 O –ANA**

**RESUMEN EJECUTIVO 011 EMPRESA ECHE INGENIEROS S.R.L 2007**

**SENAMHI – Informe técnico 010 – 2012 –Iquitos –Perú**

**SHANNON, ROBERT; JOHANNES, JAMES D.** (1976). [Systems simulation: the art and science](#). [IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics](#) **6(10)**. pp. 723-724. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4309432](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4309432).

**SUNASS (2009).** Registro de los volúmenes de aguas residuales- Lima

**VANN HAANDEL, A. y LETTINGA G.** (1994) Tratamiento Anaerobio de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande. Brasil [www.uasb.gov](http://www.uasb.gov)

**VELASQUEZ MANUEL. (2013).** Tesis, Simulación de parámetros para la obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas de algodón y su análisis económico y ambiental, haciendo uso del Superpro Designer en la región Loreto. UNAP.

**www.andina.com.pe**/español/noticia/Altísima temperatura combinada con lluvias signo del cambio climático. La Región. 2 de noviembre de 2012. Consultado el 2 de noviembre de 2012.

**www.andina.com.pe**/español/noticia/loreto - soporta ola de calor, lluvias y friaje, informa Senamhi Andina. Consultado el 28 de septiembre de 2012.

**www.andina.com.pe**/español/noticia/Martha **Rodríguez** Achung (julio de 1994). «Crecimiento Urbano de Iquitos: Condicionamientos Estructurales en la década del '70 y sus Perspectivas». *IIAP*. Consultado el 4 de agosto de 2012.

**www.andina.com.pe**/español/noticia/Un total de 52 viviendas fueron afectadas por ventarrón La Región. Consultado el 28 de septiembre de 2012.

**WWW.UASB.ORG**

**ZINDER, S. (1998)** Chapter 5. Methanogens. En: Burlage, R.S. et al, *Techniques in Microbial Ecology*. Oxford University Press. New York. 113-135

