

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“PROPUESTA VIABLE DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES RESIDENCIALES PARA LOGRAR URBANIZACIONES
SOSTENIBLES EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2015”**

Presentado por:

Bach: Ricardo Antonio, MATOS MUCHA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

HUANCAYO – PERÚ

2017

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ
PRESIDENTE

JURADO

JURADO

JURADO

Mg. MIGUEL ÁNGEL, CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

ASESOR:

Ing. JULIO NAKANDAKARE SANTANA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres Ubaldo y Martha por haberme educado y orientado en el camino de la vida, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre lo que se incluye este. Por sus consejos y apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

De la misma forma a mis hermanas Sandra y Adriana por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.

A mi hijo Max, por ser mi orgullo y gran motivación.

A mi familia en general por su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A todos los ingenieros que me transmitieron sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional, quiénes nos guiaron para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Ricardo Antonio Matos Mucha

ÍNDICE

	Pág.
Portada	i
Hoja del Jurado	ii
Dedicatoria	iv
Índice	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Graficos	xi
Índice de Tablas	xiii
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1. Descripción de la realidad problemática	18
1.2. Formulación del problema	20
1.3. Objetivos de la Investigación	21
1.4. Justificación de la Investigación	21
1.5. Limitaciones	22
1.6. Viabilidad del estudio.	22

CAPITULO II

MARCO TEORICO 23

2.1. Antecedentes de la Investigación	23
2.2. Bases teóricas	26

2.3.	Definiciones conceptuales	101
2.4.	Formulación de hipótesis	103

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO 104

3.1.	Variables	104
3.2.	Diseño Metodológico	104
3.3.	Tipo de Estudio	105
3.4.	Nivel de investigación	105
3.5.	Diseño del estudio	105
3.6.	Población y muestra	107
3.7.	Operacionalización de variables	108
3.8.	Técnicas de recolección de datos	109
3.9.	Validez y confiabilidad de los instrumentos empleados	110
3.10.	Técnicas para el procesamiento y análisis de información	110

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION 111

4.1.	Reutilización del agua en el Perú y Huancayo	111
4.2.	Marco legal en el Perú	113
4.3.	Base de diseño de sistemas usados	125
4.4.	Evaluación de las PTAR	157
4.5.	Urbanización Sostenible: Estudio caso “La Planicie de San Carlos”	174

CAPITULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION 195

5.1.	Selección de propuestas adecuadas y propuesta óptima.	195
5.2.	Análisis de la situación actual del tratamiento de las aguas residuales.	207
5.3.	Viabilidad de la propuesta óptima elegida.	213
5.4.	Contrastación de la hipótesis	222

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION 224

CONCLUSIONES	226
RECOMENDACIONES	227
BIBLIOGRAFIA	228
ANEXOS	232
Anexo 1 – Matriz de consistencia	
Anexo 2 – Normativa vigente	
Anexo 3 – Autoridades involucradas y funciones	
Anexo 4 – Etapas de tratamiento de aguas residuales	
Anexo 5 – Esquema de Preguntas	
Anexo 6 – Tabla de comparación	
Anexo 7 – Tabla de ponderación	
Anexo 8 – Matriz de decisión	
Anexo 9 – Esquema de preguntas (Estudio caso)	
Anexo 10 – Tabla de comparación (Estudio caso)	
Anexo 11 – Tabla de ponderación (Estudio caso)	
Anexo 12 – Tabla de calificación (Estudio caso)	
Anexo 13 – Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)	
Anexo 14 – Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)	
Anexo 15 – Tabla de calificación (Estudio caso)	
Anexo 16 – Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)	
Anexo 17 - Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)	
Anexo 18 – Tabla de calificación (Estudio caso)	
Anexo 19 - Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)	
Anexo 20 - Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)	
Anexo 21 – Panel fotográfico	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1.	Sistema de tratamiento de aguas residuales	34
Figura N°2.	Clasificación esquemática de los procesos de tratamiento de aguas residuales.	35
Figura N°3.	Flujo de energía química contenida en la materia orgánica contaminante.	37
Figura N°4.	Ejemplos de integración de trenes de trat. de aguas residuales	38
Figura N°5.	Reja típica de limpieza manual.	40
Figura N°6:	Rejillas de limpieza mecánica.	41
Figura N° 7:	Desarenador horizontal de flujo horizontal.	43
Figura N°8:	Modelo de flujo helicoidal en un desarenador aireado	44
Figura N° 9.	Desarenador de vórtice.	45
Figura N°10.	Sección transversal típica de un desarenador aireado.	46
Figura N°11.	Grafica de una fosa séptica común	49
Figura N°12.	Pozo absorbente	50
Figura N°13.	Representación de una planta de tratamiento con sus posibles fuentes de malos olores.	54
Figura N°14:	Principales fuentes de olores en una planta de tratamiento	55
Figura N°15:	Esquema de un biofiltro	57
Figura N°16:	Sistema de lagunas empleado en el tratamiento de aguas residuales del Colegio La Inmaculada (Lima)	58
Figura N°17.	Interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas, en una laguna facultativa de estabilización.	59

Figura N°18. Lagunas aireadas con aireadores mecánicos del Parque Zonal Huáscar.	60
Figura N°19. Sistema de lodos activados	63
Figura N°20. Esquema de un filtro percolador.	68
Figura N°21: Filtro percolador modificado ubicado en el parque María Reiche del distrito de Miraflores, Lima.	69
Figura N°22. Esquema de un filtro sumergido aerobio	72
Figura N°23. Aspecto general y configuraciones de membranas de placa plana (izquierda) y fibra hueca (derecha).	74
Figura N°24. Laguna anaerobia	77
Figura N°25. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia.	78
Figura N° 26. Esquema de reactores sin retención interior de biomasa.	80
Figura N°27. Filtro Anaerobio	82
Figura N°28. Filtro anaeróbico de flujo ascendente	85
Figura N°29. Reactor de lecho expandido (EGSB)	87
Figura N°30: Estructura de un humedal artificial horizontal	88
Figura N°31: Humedal artificial de flujo vertical Colegio Christoferus, Chorrillos, Lima	88
Figura N°32. Exigencia de LMP de Vertimientos del efluente de PTAR. LMP para reúso del efluente, ECA y VMA	118
Figura N°33: Sistemas con tanques Imhoff y filtros percoladores	132
Figura N°34. Concepto para producir energía	148
Figura N°35. Observaciones respecto a operación y mantenimiento	172
Figura N°36. Distribución de Áreas	176
Figura N°37. Esquema / Algoritmo	179
Figura N°38. Esquema / Algoritmo	184
Figura N°39. Diseño conceptual de lodos activados de aireación extensiva	185
Figura N°40. Diseño conceptual de PTAR con RAFA	186
Figura N°41. Diseño conceptual de una planta de tratamiento con reactor anaeróbico y lodos activados	187
Figura N°42. Tren de tratamiento (L.A aireación extendida).	189
Figura N°43. Tren de tratamiento (UASB + Lodos activados).	190
Figura N°44. Tren de tratamiento (UASB + Filtro percolador).	190

Figura N°45.	Resultados de tipo ambiental de cada tecnología	200
Figura N°46.	PTAR con infraestructura afectada	211
Figura N°47.	Esquema de localización de la PTAR.	218
Figura N°48.	Área disponible para PTAR.	218
Figura N°49.	Vista de perfil de la PTAR	219
Figura N°50.	Esquema en Sección de la PTAR.	219
Figura N°51.	Vista frontal de la PTAR.	220
Figura N°52.	Detalle del Tratamiento Secundario (Filtro)	220
Figura N°53.	Área ocupada por la PTAR dentro del área disponible	221
Figura N°54.	Isométrico PTAR	221
Figura N°55.	Detalle del Frontis de la PTAR y “cerco verde”	222

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico N°01.	Áreas para una planta con lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración	127
Grafico N°02.	Áreas para una planta con lagunas facultativas y de maduración	128
Grafico N°03:	Áreas netas específicas necesarias para lagunas de estabilización (sin lagunas de maduración) en caso de la construcción de una planta de desinfección	129
Grafico N°04.	Área necesaria de reactores UASB, RALF	130
Grafico N°05.	Áreas para lagunas después de reactores UASB y RALF	131
Grafico N°06.	Área necesaria para la instalación de filtros percoladores. Valor límite de 80mg DBO/l y profundidad de 5m	132
Grafico N°07.	Áreas netas para lagunas de sedimentación	133
Grafico N°08.	Potencial de la eliminación de la DBO y coliformes fecales	138
Grafico N°9.	Concentraciones en efluente de las plantas	140
Grafico N°10.	Costos de inversión de las seis PTAR	142
Grafico N°11.	Costos de bombas en el año 2008, Bolivia	144
Grafico N°12.	Los diferentes sistemas en comparación	145
Grafico N°13.	Comparación de costos específicos del personal	145
Grafico N°14.	Costos de mantenimiento	153
Grafico N°15.	Costos de mantenimiento de los diferentes sistemas	153
Grafico N°16.	Costos de operación en diferentes sistemas	154
Grafico N°17.	Valores presentes (US\$/ hab.) para los diferentes tipos de plantas	156

Grafico N°18.	Número de localidades del ámbito de las EPS	159
Grafico N°19.	Capacidad hidráulica por EPS en JUNIN (l/s)	161
Grafico N°20.	Capacidad de tratamiento de la carga PTAR	162
Grafico N°21.	Numero de PTAR	181
Grafico N°22.	Vol. de aguas tratadas según tec. usada (m3/dia)	182
Grafico N°23.	Porcentaje de etapa de tratamiento necesaria	196
Grafico N°24.	Resultados de tipo ambiental de cada tecnología	196
Grafico N°25.	Resultados de tipo técnico de cada tecnología	197
Grafico N°26.	Resultados de tipo económico de cada tecnología	197
Grafico N°27.	Resultados de tipo social de cada tecnología	198
Grafico N°28.	Resultados del esquema de preguntas	198
Grafico N°29.	Resultado acumulado de cada tecnología	198
Grafico N°30.	Porcentaje de remoción de tecnologías comunes	199
Grafico N°31.	Comparación de tecnologías comunes	199
Grafico N°32.	Resultados de tipo ambiental de cada tecnología	200
Grafico N°33.	Peligro naturales por localización	201
Grafico N°34.	Comparación de pre diseños	201
Grafico N°35.	Comparación de parámetros	202
Grafico N°36.	Comparación de porcentajes de remoción	203
Grafico N°37.	Porcentaje de valores por rubro de la matriz	204
Grafico N°38.	Resultados de tabla de comparación	204
Grafico N°39.	Resultados del Ing. Sanitario Ramírez De la Cruz	205
Grafico N°40.	Resultados del Ing. Civil e Ing. Ambiental	205
Grafico N°41.	Resultados del Ing. Civil A. Poma Samanez	205
Grafico N°42.	Resultados totales por rubro de calificación	206
Grafico N°43.	Resultados promedio finales en porcentajes	206
Grafico N°44.	Comparación entre EPS de la región Junín	207

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.	Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua residual.	28
Tabla N°2.	Composición y concentración del agua residual doméstica.	28
Tabla N°3.	Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos	30
Tabla N°4.	Características de las rejillas de barras	40
Tabla N°5.	Parámetros para el diseño de sedimentadores secundarios	66
Tabla N°6.	Parámetros recomendados para los filtros percoladores de baja y alta carga	69
Tabla N°7.	Clasificación de los sistemas de tratamiento anaerobio	75
Tabla N°8:	Principales parámetros de diseño empleados para Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente	84
Tabla N°9.	Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.	89
Tabla N°10.	LMP de efluentes para su vertimiento a un cuerpo de agua	119
Tabla N°11.	Parámetros y frecuencia del monitoreo de muestras de afluentes y efluentes de las PTAR	119
Tabla N°12.	Comparación de los LMP para efluentes de PTAR y ECA - Agua	120
Tabla N°13.	Recomendaciones de la calidad microbiológica del agua de reúso para riego	123
Tabla N°14.	Límites máximos de la presencia de huevos de helmintos y grado de remoción de organismos patógenos necesarios para no afectar la salud humana	123

Tabla N°15.	Remoción de organismos patógenos por medidas de protección	124
Tabla N°16.	Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego	124
Tabla N°17.	Concentración máxima de elementos químicos tóxicos para la salud humana	125
Tabla N°18	Áreas netas para lechos de secado	134
Tabla N°19.	Áreas netas necesarias (m ² /1000hab)	134
Tabla N°20.	Tipos de etapas en plantas de tratamiento de agua	135
Tabla N°21.	Combinaciones de etapas comunes	136
Tabla N°22.	Definiciones de las abreviaturas de la tabla N°21	136
Tabla N°23.	Sistemas que cumplen diferentes demandas al efluente	137
Tabla N°24.	Costos de Inversión de seis PTAR en Lima (US\$)	141
Tabla N°25.	Costos de inversión de seis PTAR de Lima según tecnología	142
Tabla N°26.	Consumo de energía de iluminación y pretratamiento	146
Tabla N°27.	Costos para eliminación del lodo	151
Tabla N°28.	Costos de operación en diferentes sistemas, para una planta de 100000 hab (US\$/(hab.*año))	154
Tabla N°29.	Valores presentes (US\$/ hab.) para los diferentes tipos de plantas	155
Tabla N°30.	Principales localidades sin tratamiento de aguas residuales	159
Tabla N°31.	Habitantes con servicio de alcantarillado y caudal vertido	159
Tabla N°32.	Ptar de ambito de servicio de las EPS (Julio 2014)	160
Tabla N°33.	Distribucion de Ptar según Zonas del pais.	161
Tabla N°34.	Obras de PTAR paralizadas (hasta 2014)	162
Tabla N°35.	Comparación de la capacidad hidraulica y de la capacidad de tratamiento de la carga organica en las PTAR.	163
Tabla N°36.	Medición de caudales del afluente	164
Tabla N°37.	Tratamiento preliminar en la PTAR	164
Tabla N°38.	Tratamiento primario en las PTAR	165
Tabla N°39.	Tratamiento secundario en las PTAR	165
Tabla N°40.	Tecnologías de tratamiento de lodos	165
Tabla N°41.	Principales equipos electromecánicos en las PTAR	166

Tabla N°42.	Observaciones frecuentes respecto a la construcción de las PTAR	168
Tabla N°43.	Disposición final de lodos y residuos sólidos más frecuentes en las PTAR	168
Tabla N°44.	Cumplimiento de los LMP del efluente de las PTAR	169
Tabla N°45.	Cumplimiento de los LMP del efluente de las PTAR	170
Tabla N°46.	Presencia de personal en la PTAR	171
Tabla N°47.	Personal operativo diario en EPS Mantaro – Jauja	171
Tabla N°49.	Resumen de las conclusiones de los investigadores	181
Tabla N°50.	Peligros naturales por provincias y periodos de ocurrencia	189
Tabla N°51.	Comparación financiera, administrativa y técnica	191
Tabla N°52.	Comparación de opciones de tratamiento	192
Tabla N°53.	Comparación de dos tratamientos	193
Tabla N°54.	Comparación de etapas de tratamiento	195
Tabla N°55.	Comparación de la situación actual de etapas de tratamiento de dos EPS en la región Junín	210
Tabla N°56.	Comparación de la situación actual de personal y LMP de dos EPS en la región Junín	212

RESUMEN

La presente tesis titulada: Propuesta viable de tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015 tiene como problema general: ¿Qué propuesta sería la adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015? para lo cual se ha planteado como objetivo general: Determinar una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015; para lo que se realizó recopilación de datos, entrevistas no estructuradas, trabajo en campo, compilación de información, análisis crítico y se proyectó una alternativa de solución óptima con herramientas del sector inmobiliario para urbanizaciones sostenibles de la ciudad de Huancayo. La hipótesis general de la investigación es: Se encontrarán varias propuestas adecuadas, dentro de las cuales se elegirá la óptima para tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

La metodología de investigación que se utilizó fue considerando un diseño no experimental, tipo de estudio básico o pura y de nivel descriptivo con corte transeccional.

La conclusión de la investigación es que se encontraron 8 tecnologías adecuadas para usarse en el ámbito de la ciudad de Huancayo, dentro de las cuales el reactor UASB + Filtro percolador resulta la propuesta óptima para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo.

Palabras clave: Propuesta viable, aguas residuales residenciales, urbanizaciones sostenibles.

INTRODUCCIÓN

La descarga directa sin tratamiento alguno de las aguas residuales en los cuerpos receptores (ríos, lagos, o el mar) es uno de los principales factores de contaminación tanto superficial como subterránea, lo que pone en riesgo la sostenibilidad del agua y la salud de la población. (SUNASS, 2015)

En un agua residual no tratada, que se deje estancada durante un cierto tiempo, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede llevar a la producción de grandes cantidades de gases malolientes, además de contener numerosos causantes de enfermedades. Asimismo la ingesta directa o indirecta (alimentos regados por aguas residuales) del agua residual, la contaminación del hábitat de vida acuática y marina, contaminación de aguas confinadas, y contaminación del suelo por mal manejo de una PTAR; ponen en riesgo la salud pública y el medio ambiente.

En el Perú del total de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), pocos son los proyectos que pueden llamarse exitosos. Los montos de inversiones en construcción de PTAR fueron colocados por diversos gobiernos para evitar o aliviar los efectos de los contaminantes de las aguas residuales crudas y preservar el ambiente humano y natural. En la actualidad peruana los costos de operación de una PTAR juegan un papel más determinante que lo de la inversión. Estos costos tienen que ser cubiertos directamente por las tarifas; en cambio las inversiones en su mayor parte son financiadas a través de donaciones y créditos de la cooperación internacional y/o gobierno nacional. Ello se debe, por un lado, a la visión sesgada de las EPS (Empresa prestadora de servicio de saneamiento) que no llega a descubrir el potencial socio económico de las aguas residuales tratadas y, por otro lado, a la ausencia de una cultura de protección del ambiente como parte de la misión de las EPS. Por estas y otras razones la eliminación inmediata y sin molestias del agua residual desde sus

fuentes de generación, seguida de su tratamiento y evacuación, no es solamente deseable sino que es necesaria en una sociedad sostenible.

La presente tesis va a tratar exclusivamente de la contaminación de las aguas residuales domésticas en Huancayo y su tratamiento como propuesta adecuada a las posibilidades e inquietudes económicas, sociales y políticas. Para una mayor comprensión consta de cinco capítulos, analizados y distribuidos de la siguiente manera:

El Capítulo I, trata sobre la descripción de la realidad problemática, formulación del problema, los objetivos de la investigación general y específicos, la justificación de la investigación, limitaciones y viabilidad del estudio.

El Capítulo II, trata sobre el marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, las definiciones conceptuales, formulación de hipótesis general y específica.

El Capítulo III, trata sobre la metodología de la investigación, las variables independiente y dependiente, el diseño metodológico, el tipo de estudio, el nivel de investigación, el lugar y periodo de la investigación, el diseño del estudio, la población y muestra, operacionalización de variables, técnicas de recolección de datos, validez y confiabilidad de los instrumentos empleados, técnicas para el procesamiento y aspectos éticos.

El Capítulo IV: trata sobre la reutilización del agua, marco legal en Perú, bases de diseño de sistemas usados, evaluación de las PTAR y un estudio caso de la urbanización “La Planicie de San Carlos”.

El Capítulo V: trata sobre los resultados de la observación, análisis, modelamiento y cálculos realizados; así como la contrastación de la hipótesis general y las específicas.

El Capítulo VI: trata sobre la discusión de resultados.

Culminando esta investigación están las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

“El acceso al agua potable es una necesidad humana fundamental, y por lo tanto, un derecho humano básico. El agua contaminada pone en peligro la salud física y social de todas las personas. Es una afrenta a la dignidad humana” (Kofi, 2003). El agua es un recurso esencial para la vida en este planeta. Los seres humanos dependemos de ella para nuestra salud y para la producción de alimentos, bienes y servicios. El agua a través de la historia ha sido motivo de conflictos por posesión de tierras. Actualmente, se genera una problemática con respecto al uso de la dotación del río Nilo en los países cercanos, con lo que Miguel Ángel García llama “Guerra por el agua en África” (García, 2012). Las ciudades más cercanas a ríos o lagunas serán siempre mejor vistas que zonas áridas o desérticas, por su beneficio en la agricultura, ganadería, entre otros.

En el Informe sobre el desarrollo humano en el año 2006 publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se indica como las principales actividades que consumen mayor cantidad de agua, a la agricultura con un 70 % del consumo mundial, la industria con un promedio de 23 %, y el consumo doméstico con un 7 %. Dentro de este 7 % de consumo doméstico, los seres humanos tenemos la libertad de optar por realizar diferentes actividades que consumen agua sin ningún impedimento.

La privación de agua limpia y saneamiento básico destruyeron más vidas que cualquier guerra o acto terrorista. Dentro de la

problemática mundial, alrededor de novecientos millones de personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, aproximadamente 1,100 millones de habitantes no beben agua potable y 2,600 millones no tienen servicios de alcantarillado (PNUD, 2006). El déficit mundial del agua e infraestructura de saneamiento está retardando los avances económicos y debilita los esfuerzos de millones de personas por salir de la pobreza.

Además de la escasez del agua, tenemos como tema importante la contaminación de este recurso por diversas actividades antropogénicas, incluyendo las del sector industrial, agrícola y residencial. La contaminación ha alterado el ciclo regular del agua durante años y cada vez en mayores cantidades. Esto significa que la naturaleza provee de agua y se devuelve en su mayoría contaminada. Se encuentran diferentes tipos de contaminación del agua, como la petrolera, la minera, la industrial, doméstica, etc. En este trabajo se centrará en la contaminación de las aguas residuales domésticas y su tratamiento como alternativa de solución.

En la actualidad muchas personas desconocen los procesos de reutilización de las aguas residuales y sus beneficios potenciales. Por ejemplo, en el caso de la agricultura, el agua residual adecuadamente tratada es un agua con nutrientes adecuados para las tierras de sembrado. Alrededor del mundo existen casos actuales que son ejemplos exitosos del uso de tecnología moderna de tratamiento de aguas residuales, a pesar de las dificultades relacionadas con su entorno. Un ejemplo es Israel, un país donde su geografía limita la captación y suministro de agua a sus pobladores, pero con el uso de tecnologías modernas han hecho viable satisfacer la demanda de este recurso. Es así que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales para el riego en la agricultura, teniendo éxito en sus productos. Otros casos exitosos en el mundo podrían ser ejemplos concretos del grado de desarrollo

hídrico que podría evaluar y adecuar a la realidad peruana. Esta adecuación no debe ser solo una solución técnica, sino debe incluir un análisis de las implicaciones sociales, políticas y culturales. Por otra parte, el crecimiento económico y el aumento de viviendas podrían generar colapsos en el sistema de alcantarillado nacional además de diferentes problemas hídricos, estos problemas también podría ser una oportunidad de mejoramiento en el sistema de agua y desagüe.

En el Perú y sus ciudades no se ha logrado solucionar el tema de la obstrucción del ciclo correcto de utilización de agua. Las aguas residuales recogidas en las ciudades deben ser conducidas finalmente a cuerpos de agua receptores o a la misma tierra, al respecto es necesario identificar el tratamiento de aguas residuales residenciales más adecuado para la ciudad de Huancayo. Entonces nace la compleja pregunta acerca de que contaminantes de las aguas residuales deben ser eliminados para proteger al entorno y en qué cantidad, precisa de una contestación específica en cada caso concreto. Ellos requieren el análisis de las condiciones y necesidades de la ciudad de Huancayo, junto con la aplicación del conocimiento científico, de la experiencia previa de ingeniería y de las normas reguladoras de la calidad de aguas existentes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿Qué propuesta sería la adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015?

1.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cuál es la situación actual del tratamiento de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo 2015?

- b. ¿Cómo sustentar la viabilidad de la propuesta optima elegida para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo principal

Determinar una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar la situación actual del tratamiento de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo 2015.
- b. Sustentar la viabilidad para la propuesta óptima elegida para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación teórica

La justificación se enfatiza en la teoría de tratamiento de aguas residuales residenciales, diseño y nuevas tecnologías; utilizando nuevos procesos para la elección de una planta de tratamiento para lograr urbanizaciones sostenibles.

1.4.2. Justificación practica

La presente investigación contiene una justificación práctica; ya que, plantea alcanzar soluciones sostenibles mediante una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo.

1.4.3. Justificación metodológica

La presente investigación posee justificación metodológica ya que se basa en el método científico y el tipo de investigación cuantitativa cualitativa la cual propone una metodología para la elección de una planta de tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación espacial

La presente investigación se realizará en la ciudad de Huancayo, utilizando como estudio caso el conjunto habitacional “Planicie de San Carlos” ubicado en el distrito del tambo.

1.5.2. Delimitación temporal

En la presente investigación se realizó un estudio del estado situacional de las aguas residuales residenciales y un estudio caso el año 2015 siendo una investigación prospectiva.

1.5.3. Delimitación conceptual

El Presente estudio solo se enfocará a las aguas residuales residenciales o domesticas para urbanizaciones sostenibles dentro de la ciudad de Huancayo.

1.6. Viabilidad del estudio

La investigación es viable por contar con variables reales y existentes siendo así, que para evaluarlos en campo y gabinete se ha utilizado instrumentos confiables.

CAPITULO II.

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Nacionales

(Mendez & Feliciano, 2010) Tesis: *Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes.* Presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería en el año 2010 sustento su con la finalidad de lograr el grado académico de Maestro en Proyectos de Inversión, para ello el investigador diseño un modelo basado en unos supuestos para simplificar la inmensa cantidad de variables detectadas (más de veinticinco), las cuales si bien explican en parte y en teoría la relación y funcionabilidad de las aguas limpias vs las aguas residuales tratadas, para los efectos de aplicación práctica del Modelo matemático estas se han reducido a cinco, concluyendo:

- La implementación de la metodología de Disposición a pagar, es una herramienta eficaz de equilibrio entre el productor y consumidor de contaminación.
- En términos agregados existe un beneficio adicional por reutilizar el agua residual tratada, al utilizarse menor cantidad de agua potable en determinadas áreas para favorecer a otras que carecen del líquido elemento, y, las aguas residuales tratadas se utilizarían en otras actividades económicas y de servicios que no son de consumo humano directo como la agricultura, riego de parques y jardines

(Arce, 2013) de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el año 2013 sustento su tesis, URBANIZACIONES SOSTENIBLES: DESCENTRALIZACION DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RESIDENCIALES, con la finalidad de lograr el título profesional en Ingeniería Civil, para ello el investigador se basó en viajes a distintas zonas del Perú para observar métodos que utilizan para el tratamiento de aguas residuales. Estos viajes se dieron solo en zonas urbanas además de lima y ecuador. También realizo entrevistas a especialistas y pudo concluir:

- Los lodos activados de aireación extendida y los bioreactores de membrana son un son las opciones más adecuadas para las zonas urbanas en el Perú.
- Los resultados obtenidos de su estudio, corroboran que su proyecto urbanizaciones sostenibles es una realidad alentadora y rentable.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

(Ghanem, 1994) y la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Puerto La Cruz, Venezuela, realizó un proyecto de investigación titulado: Rehabilitación de un sistema de recolección de aguas servidas. En el mismo se estudia la posibilidad de rehabilitación de las tuberías de aguas servidas, el cual consiste básicamente en el revestimiento interno de las tuberías dañadas en un sector de la ciudad de Puerto la Cruz; Sin embargo cuando las tuberías no permiten la utilización de revestimientos debido a que están totalmente destruidas o han llegado al término de su capacidad, se hace necesario la sustitución de las mismas por otras que cumplan con un nuevo periodo de diseño.

(Márquez & Nava, 2002) y la Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Carabobo, en Venezuela, realizaron el proyecto titulado: “Eliminación de componentes orgánicos en aguas residuales mediante un reactor del tipo biopelícula sumergida aireada”, el mismo se realizó con el fin de disminuir los costos de inversión y operación en los sistemas de tratamiento del agua residual sin afectar la eficiencia del tratamiento, lo que ha generado la necesidad de investigar más acerca de estos sistemas. En esta investigación se utilizaron los datos de funcionamiento de una planta piloto, construida para su estudio a escala de laboratorio, basada en un proceso de Biopelícula Sumergida Aireada (BSA).- Estos datos fueron analizados para examinar las tasas de eliminación de los componentes orgánicos. El proceso mostró altas eficiencias en la eliminación de la DBO (>75%) para un rango de aplicación de cargas hidráulicas (2.5 a 7.5 L/m² .d). La tasa de remoción orgánica (DBO-DQO) fue influenciada por la carga hidráulica aplicada. La tasa de eliminación orgánica fue superior a 0.91 g DBO/m² .d obtenida para una carga hidráulica de 2.5 L/m² .d. El modelo para la bio-oxidación de los componentes orgánicos en el proceso de BSA se calculó basado en un análisis estadístico de los datos de la planta piloto. La relación obtenida es útil para analizar el diseño y funcionamiento del proceso BSA y de los distintos procesos de crecimiento adherido.

(Daal, Bracho, Escalona, & Garcia, 2008) realizaron una investigación titulada: “Alternativas de Reutilización de Aguas Residuales Regeneradas en Sistemas de tratamiento en la Península de Paraguaná”. La misma tuvo como objetivo proponer alternativas de reutilización del agua regenerada por los sistemas de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas existentes en la Península de Paraguaná. La investigación inició con la identificación de los Sistemas de Tratamiento de Aguas

Residuales Domésticas existentes en la Península de Paraguaná, se realizaron visitas para describir la situación actual de los Sistemas. Además se determinó la calidad del agua regenerada con la finalidad de proponer las alternativas de reutilización más convenientes, contribuyendo al ahorro del agua potable y destinando ésta solo para el uso doméstico e Industrial que la requiera. Posteriormente se elaboró una propuesta de mantenimiento y control para cada uno de los sistemas objeto de estudio, a fin de mejorar la calidad del efluente. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis químicos, el único sistema cuyo efluente cumple con las condiciones mínimas exigidas para el riego y usos urbanos es el sistema integrado de Humedales construidos en el Parque Metropolitano. Resulta indispensable la aplicación de mecanismos de mantenimiento y control para mejorar la calidad del efluente de los Sistemas de Tratamiento de Adícora, Santa Ana y Oasis, y de esta forma, reducir la contaminación y obtener agua apta para su reutilización.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Característica del agua residual

Las aguas residuales se definen, según Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, como “Aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.” Estas aguas incorporan en su composición una gran variedad de sustancias que la contaminan, provenientes de residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales. Con frecuencia, esta corriente de agua de desecho se mezcla con aguas subterráneas infiltradas en la red, o bien aguas

superficiales o de lluvia en el caso de que los drenajes sean combinados.

2.2.1.1. Clasificación

Aguas residuales Industriales. Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

Aguas residuales municipales. Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Aguas residuales domésticas. Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

2.2.1.2. Análisis y composición

Los análisis realizados con las aguas residuales pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. Los principales parámetros utilizados para caracterizar un agua residual se citan en la tabla N°1. La composición se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua residual.

Según la cantidad de estos componentes, el agua residual se clasifica como fuerte, media o débil. La tabla N°2 muestra datos típicos de la concentración y composición típica del agua residual doméstica.

Tabla N°1. Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua residual.

PARÁMETRO	ORIGEN
FÍSICAS	
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos. Residuos industriales y domésticos.
Color	Agua residual en descomposición, Residuos industriales
Olor	
QUÍMICAS	
Orgánico:	
Proteínas	Residuos industriales y domésticos.
Carbohidratos	Residuos industriales y domésticos.
Grasas animales	Residuos industriales, comerciales y domésticos. Residuos industriales y domésticos.
Agentes tensoactivos	Residuos industriales. Residuos agrícolas.
Fenoles	
Pesticidas	
Inorgánico:	
pH	Residuos industriales.
Cloruros	Suministro de agua doméstica, residuos industriales, infiltración de aguas subterráneas.
Alcalinidad	Residuos domésticos, suministro de agua doméstica, infiltración de aguas subterráneas
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos.
Fósforo	Residuos industriales y domésticos, derrame natural. Suministro de agua doméstica y residuos industriales
Azufre	Residuos industriales, infiltración de aguas subterráneas.
Compuestos tóxicos	Residuos industriales.
Metales pesados	
Gases:	
Oxígeno	Suministro de agua doméstica, infiltración de aguas superficiales.
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas domésticas. Descomposición de aguas domésticas.
Metano	
BIOLÓGICAS	
Protistas	Residuos domésticos, plantas de tratamiento.
Virus	Residuos domésticos.
Plantas	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento. Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Animales	

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla N°2. Composición y concentración del agua residual doméstica.

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos, en total	1200	700	350
Disueltos, en total	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos, en total	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml / l)	20	10	5
DBO5 (20° C)	300	200	100
Carbono orgánico total (COT)	300	200	100
DQO	1000	500	250
Nitrógeno	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco libre	50	25	12
Fósforo	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como Ca CO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

2.2.1.3. Diversidad de las aguas residuales

La variación del caudal, tipo y concentración de los contaminantes en las aguas residuales domésticas se ve atenuada en las ciudades por la incorporación del agua proveniente de la actividad comercial e industrial

comprendida en el área urbana, así como agua de lluvia en el caso de sistemas de drenaje combinados. En este sentido, las aguas residuales de origen municipal son más homogéneas, dentro de ciertos límites, en su composición y es por ello que son aguas residuales relativamente fáciles de tratar.

Sin embargo, se requerirá una caracterización del agua residual, con base en una campaña de muestreo formal y determinando los parámetros que sean necesarios, cuando haya incorporación de agua residual industrial al drenaje (industria alimenticia, industria pecuaria como cría de cerdos, ganado bovino, industria metalmecánica, industria química etc.). Al existir incorporaciones de descargas industriales, la concentración típica de los compuestos se alterarán a la alza, con el riesgo de incorporar sustancias tóxicas nocivas al procesos de tratamiento del efluente a tratar.

La caracterización de un agua residual consiste en determinar, mediante una serie de pruebas de laboratorio, la concentración de los elementos o compuestos químicos y biológicos que estén presentes en muestras representativas. El número y tipo de compuestos por determinar es función del origen del agua residual y de su sitio de disposición final, que es tomado como base para fijar las condiciones de descarga.

En tales circunstancias, resulta de utilidad la información referente a la caracterización de descargas que se generen en sitios o instalaciones semejantes.

La tabla N°3 presenta los principales parámetros utilizados en la caracterización del agua residual, asociados con el contaminante que miden y los efectos o impactos derivados de una eventual descarga a un cuerpo receptor o a la salud humana.

Tabla N°3. Principales grupos de contaminantes del agua y sus efectos

ANÁLISIS PRINCIPAL	CONTAMINANTE CONSIDERADO	EFFECTO
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Materia orgánica biodegradable	Abatimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento de microorganismos.
Demanda química de oxígeno (DQO) o Carbón orgánico total (COT)	Materia orgánica total	Mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
Sólidos suspendidos totales (SST) Volátiles (SSV) y fijos (SSF)	Materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal).	Sedimentación y azolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica.
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK), nitratos y nitritos (NO_3^- , NO_2^-), fósforo total (Pt), ortofosfatos (PO_4^{3-})	Nitrógeno y fósforo	Nutrientes que provocan eutrofización en cuerpos de agua. Contaminación de acuíferos.
Grasas y aceites	Grasas y aceites	Acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Flotación de lodos. Contaminación visual.
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sales inorgánicas	Restringen el uso de agua tratada
Coliformes fecales y huevos de helmintos	Patógenos y parásitos	Transmisión de enfermedades gastrointestinales.

Fuente: (UNAM, 2013)

2.2.1.4. Uso y disposición final del agua tratada

a. Técnicas de disposición: Los líquidos residuales de fuentes industriales y domésticas deben eventualmente ser dispuestos de alguna manera, sea mediante nuevo uso, descarga a aguas superficiales, por inyección o percolación a aguas subterráneas o por evaporación a la atmósfera. En casi todos los casos, el agua debe primero ser tratada para remover el grueso de contaminantes, sea como un asunto de necesidad de ingeniería o para conseguir los requerimientos de los reglamentos. Para determinar el grado de tratamiento que se requerirá, es necesario considerar los efectos que los diversos contaminantes producen en el ambiente en el cual serán descargados.

b. Efectos de descarga en corriente: En las corrientes de agua naturales existe un balance entre la vida vegetal y la animal, con considerable interdependencia entre las varias formas de vida. Las aguas de buena calidad se caracterizan por multiplicidad de especies sin predominio de alguna en particular. La materia orgánica que entra a la corriente es metabolizada por bacterias y convertida en amonio. Nitratos, sulfatos, dióxido de carbono, etc., que son usados, a su vez, por plantas y algas para producir carbohidratos y oxígeno. La vida vegetal es alimentada por animales microscópicos (protozoarios, rotíferos, etc.) que sirven como fuente de alimento para crustáceos, insectos, gusanos y peces. Algunos de los animales se alimentan de los residuos de otros, contribuyendo así a la degradación bacteriana. La introducción de cantidades excesivas de contaminantes puede afectar este balance natural en una variedad de formas. Cambios en el pH o en la concentración de algunas especies orgánicas e inorgánicas pueden ser tóxicos para formas de vida específicas. Excesivas cantidades de material orgánico pueden causar rápido crecimiento bacterial y agotamiento de las fuentes de oxígeno disuelto de la corriente.

Dado que la consecuencia de contaminantes es reducida por efectos de la difusión, la precipitación, la aireación, la oxidación bacterial y otros procesos naturales, el ciclo normal y la distribución de las formas de vida tenderán a restablecerse. Las normas de calidad de agua se basan en el mantenimiento de las concentraciones mínimas de oxígeno disuelto, concentraciones no tóxicas de especies químicas específicas y un pH cercano al neutro. Cuando en una

corriente se mantiene un ambiente saludable, su capacidad asimilativa natural puede usarse para ayudar en el tratamiento del residuo sin afectar adversamente a los usuarios aguas abajo.

c. Disposición y tratamiento en el terreno: El agua residual puede ser descargada al terreno ya sea para disposición o para tratamiento previo a la descarga en aguas superficiales. Aunque las plantas, las formas microscópicas de las capas superiores del suelo y la matriz del suelo en si misma tienen la habilidad de tratar residuos domésticos ordinarios y muchos residuos industriales a un grado muy alto, se debe suministrar algún tratamiento antes de la aplicación al terreno. De manera amplia, la disposición en el terreno puede clasificarse en:

- Técnicas de tasa lenta.
- Infiltración rápida.
- Flujo sobre el terreno.
- Humedales.
- Sub superficial.

Las técnicas de tasa lenta, infiltración rápida y sub superficiales dependen del movimiento del agua descendente a través del suelo, estando así limitadas por la capacidad de infiltración y de percolación. La capacidad de percolación es una función de las características del suelo mientras la infiltración depende del grado taponamiento en el punto de aplicación. Si el taponamiento es minimizado, la percolación limitará la tasa a la que el líquido puede ser aplicado.

d. Selección de un sistema de disposición: No hay un solo sistema que sea más conveniente para la disposición de todas las aguas residuales. El ingeniero debe investigar cada sistema físicamente practicable para determinar la técnica más económica que sea ambiental y socialmente aceptable.

La disposición en corrientes es la técnica más común y en general la más barata, ya que, los estándares de calidad de agua suministradas no requieren tratamiento avanzado. La disposición en terrenos es a menudo social y políticamente deseable; puede ser económica en áreas pobres en agua donde se dispone del terreno conveniente y las normas de corrientes son restrictivas. Los sistemas en el terreno pueden también requerir algo menos de técnica en la operación, lo que es un factor significativo en el aseguramiento de la protección del ambiente. Vista simplemente como una técnica de disposición en áreas donde el almacenamiento sustancial, la disposición en el terreno es bastante costosa en comparación con la descarga a aguas superficiales.

e. La evaporación: Es practicable solamente en áreas limitadas, en áreas donde el agua puede ser más provechosa si se usa para recargar aguas subterráneas o regar cultivos. En tal caso, el diseñador debe tantear el costo más elevado del sistema de disposición en el terreno contra el valor del beneficio obtenido

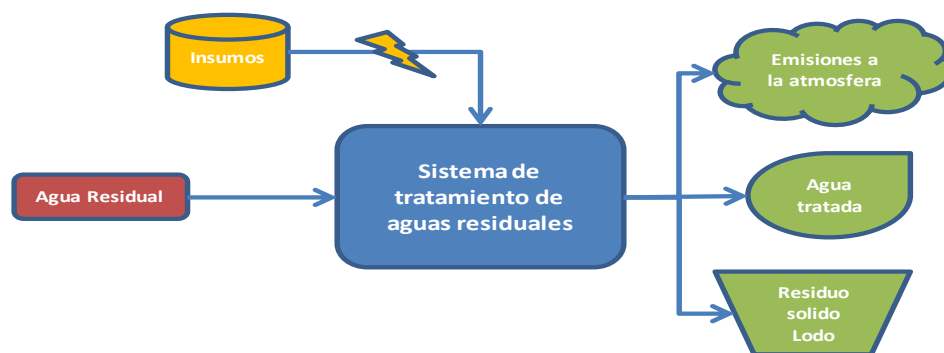
2.2.2. Niveles de tratamiento

El objetivo del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico con objeto de

alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa peruana de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará. Un esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales se presenta en la figura N°1.

La contaminación es eliminada por medios físicos, químicos y biológicos. Los medios de tratamiento en que se aplican predominantemente fuerzas físicas se llaman operaciones unitarias, mientras que los medios de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante la adición de productos químicos o por actividad biológica se conocen por procesos unitarios.

Figura N°1. Sistema de tratamiento de aguas residuales

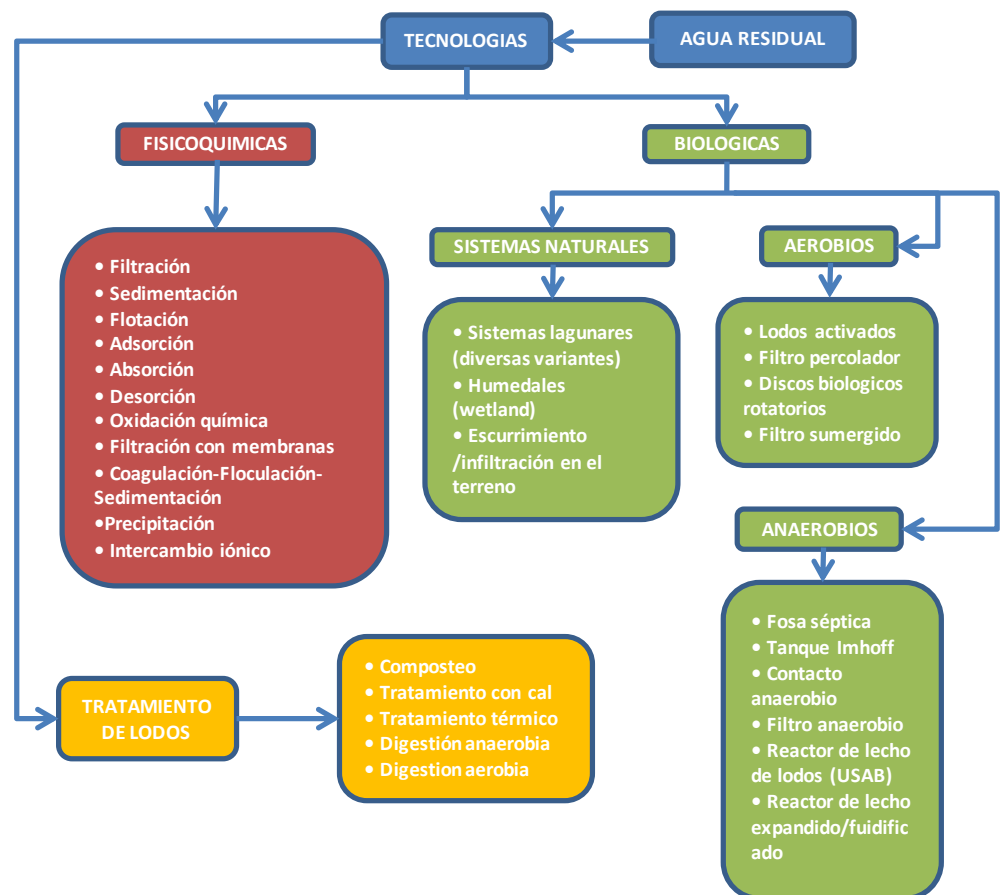


Fuente: Elaboración Propia

Es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera y producción de material de desecho que puede ser un residuo sólido, como la materia retenida en las rejillas o tamices, o semisólido en forma de lodos. En un sistema de tratamiento de aguas residuales, por la ley de la conservación de la materia que solo se transforma o transfiere, siempre se producirán residuos tales como los lodos acompañados por la generación de emisiones gaseosas. La cantidad y calidad de residuos dependerán de las características del agua a tratar y la configuración del sistema de tratamiento.

Los requerimientos de insumos se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento (costo de operación dependerá de ello). Las posibilidades tecnológicas para integrar un tren de tratamiento de aguas residuales se esquematizan en la figura N°2. Se dividen en dos grandes grupos, los tratamientos fisicoquímicos y los biológicos. Dentro de los sistemas biológicos existen los sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) y los anaerobios (funcionan sin oxígeno); sistemas naturales construidos son un rubro aparte.

Figura N°2. Clasificación esquemática de los procesos de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Elaboración Propia

Los sistemas anaerobios se pueden clasificar en tres generaciones que a su vez se integran según sea el nivel de

interacción que posee el microorganismo con el sustrato a degradar (facilidad de transferencia de masa) y la relación entre el tiempo de retención del microorganismo en el sistema (TRC) y el tiempo de retención hidráulica del sistema (TRH).

En la figura N°2 también se señalan cinco sistemas de tratamiento de lodos (biológicos y fisicoquímicos) los cuales deben ser integrados con los sistemas de tratamiento de agua residual dentro de lo que se denomina el tren integral de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de agua y lodos).

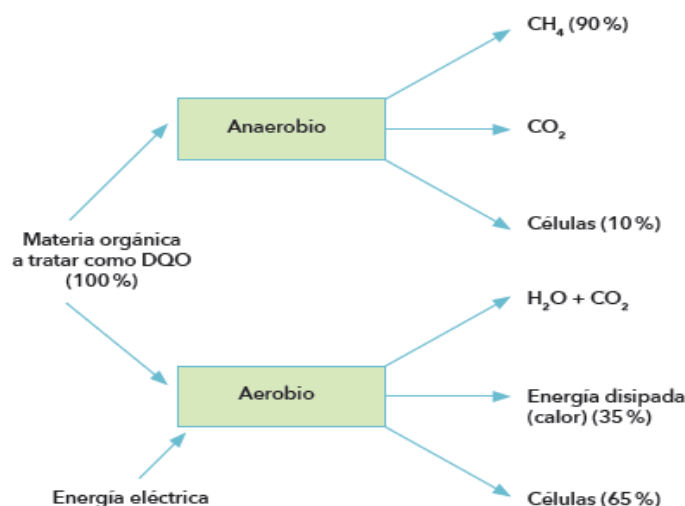
Tecnologías aerobias y anaerobias: Según la norma técnica peruana OS.090, el tratamiento anaerobio de las aguas residuales es una opción sencilla y fiable para aguas residuales domésticas con temperaturas mayores de 15 °C. Sin embargo, la norma técnica de diseño para sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de Bolivia, NB688, permite la aplicación de lagunas anaerobias para temperaturas promedio de agua menores de 8 °C; por ejemplo, en regiones con alturas mayores de 4.000 m.s.n.m. (SUNASS, 2015).

En la “Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas” (UNAM, 2013), se presenta un esquema del flujo de la energía química contenida en la materia orgánica contaminante (sustrato), según el proceso (Figura N°3).

En el sistema aerobio, un 65% de la energía producida por el metabolismo microbiano se transforma en nuevas células (lodos) mediante la síntesis (energía de anabolismo). El 35% restante se disipa como resultado de la liberación de energía que acompaña a los procesos vitales de la célula (energía de catabolismo). Estos lodos resultantes deben a su vez ser tratados previamente a su disposición final, lo cual implica costos adicionales

importantes. Para procesar el sustrato por vía aerobia en sistemas mecanizados, es necesario suministrar energía eléctrica para transferir oxígeno al agua y a los microorganismos, lo que se realiza con equipo electromecánico (aireadores mecánicos, compresores).

Figura N°3. Flujo de energía química contenida en la materia orgánica contaminante.



Fuente: (UNAM, 2013)

Si el sustrato se trata por vía anaerobia el 90% de la energía contenida en él se encuentra en la molécula de metano, gas que puede ser usado como fuente de energía para generar calor, electricidad, u otros usos. Para la operación del sistema anaerobio comparado con el sistema aerobio prácticamente no hay consumo de energía; además, tan solo el 10% de la energía de sustrato se transforma en lodo, lo cual es una ventaja sobre los sistemas aerobios pues hay hasta seis veces menos masa de lodos que tratar y disponer, lo que reduce significativamente los costos asociados a estos requerimientos. La ventaja que posee el sistema aerobio sobre el anaerobio es la calidad del agua tratada, que es superior al efluente anaerobio y permite cumplir con regulaciones ambientales estrictas. Los efluentes anaerobios mantienen materia orgánica disuelta (demanda química de

oxígeno, DQO) y compuestos inorgánicos en su forma reducida (amonio, sulfuro de hidrógeno), que generan mayores impactos al medio receptor. Utilizar el sistema anaerobio para sacar ventaja de las características, debe ser seguido de un sistema aerobio de pulimento para terminar de degradar la materia y así cumplir con las normas de descarga.

Un sistema que en primera instancia trabaje un sistema anaerobio y en segunda un sistema aerobio obtiene ventajas económicas referentes a la operación y mantenimiento, sobre una opción de tratamiento aerobia. Se removerá alrededor de un 65% de la materia orgánica del agua residual sin requerimientos de energía para aireación con el sistema anaerobio; el resto de materia orgánica lo terminará de remover el sistema aerobio, produciendo agua con excelente calidad, con menor producción de lodos y biogás que podría ser utilizado en la misma planta.

Existe una gran variedad de operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de agua residual (Figura N°4). Los componentes individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos o biológicos unitarios. Estas operaciones y procesos unitarios se combinan en los sistemas de depuración de aguas residuales, dando lugar a un tren de tratamiento. El nivel de tratamiento depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que está determinado por la norma.

Figura N°4. Ejemplos de integración de trenes de trat. de aguas residuales



Fuente: (UNAM, 2013)

2.2.2.1. Tratamiento preliminar

El primer paso en el tratamiento preliminar del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos, plásticos, material flotante, grasas y material rápidamente sedimentable como gravas y arenas presentes en el agua residual. El retiro de estos sólidos y materiales permite prever posibles obstrucciones y perjuicios de los procesos de tratamiento que se consideren en la Planta de Aguas Residuales.

El procedimiento más corriente es hacer pasar el agua residual afluyente a través de rejillas de barras o tamices. Se puede utilizar también trituradores, que Trituran los sólidos gruesos pero sin separarlos del agua. Según la norma OS.090 (MVCS, 2006), toda PTAR debe tener como mínimo una cámara de rejillas, un desarenador y un sistema de medición y repartición de caudal, ya sea de canaleta parshall o palmer bowllus. No se aceptan vertederos.

a. Rejillas, tamices

Las rejillas se fabrican con barras de acero soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal. Las barras están colocadas verticalmente o con una inclinación de 30 a 80° respecto a la horizontal. Las rejillas de barras pueden limpiarse a mano o mecánicamente. Las características en ambos casos se comparan en la tabla N°4.

En pequeñas plantas se pueden usar rejillas de limpieza manual ya sea solas o en paralelo con un canal que contiene tamices de limpieza mecánica o un

tritador. En el último caso, el sistema de limpieza manual sirve como una reserva que será usada en el evento que el sistema mecánico falle. Cuando la rejilla es taponada por sólidos, el operador periódicamente rastrilla la acumulación a la plataforma de tamizado donde ocurre algún drenaje.

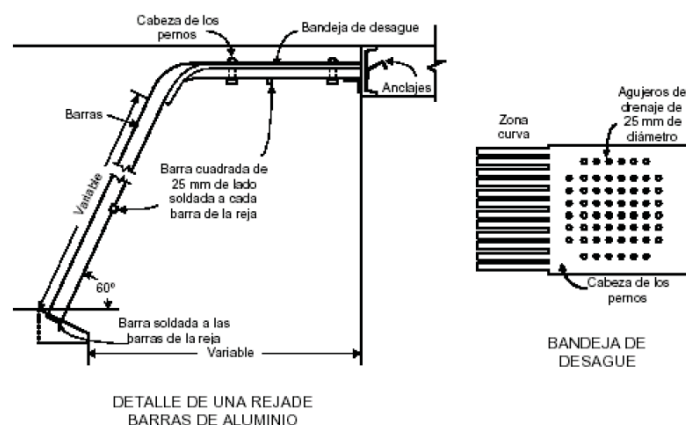
En plantas muy pequeñas, donde la unidad disponible más pequeña puede manejar el caudal total, se puede usar una rejilla de limpieza manual como reserva.

Tabla N°4. Características de las rejas de barras

Concepto	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:		
Anchura, (cm)	0.6 – 1.5	0.6 – 1.5
Profundidad (cm)	2.5 – 7.5	2.5 – 7.5
Separación (cm)	2.5 – 5.0	1.6 – 7.5
Inclinación respecto a la vertical (°)	30 – 45	0 – 30
Velocidad de aproximación (m/s)	0.3 – 0.6	0.6 – 0.9
Pérdida de carga admisible (cm)	15	15

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Figura N°5. Reja típica de limpieza manual.

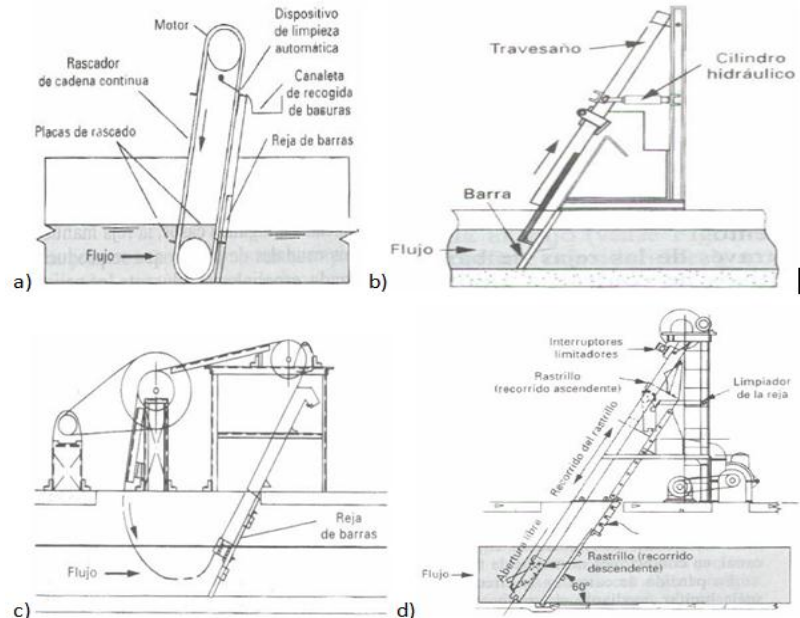


Fuente: (UMSS, 2009)

Las rejillas de limpieza mecánica (figura N°6) se usan por lo común en plantas modernas. Para que las fallas mecánicas o mantenimiento no causen sobrecargas hidráulicas se suministran unidades múltiples. Las rejas de limpieza mecánica se dividen en cuatro tipologías

principales: las rejas de funcionamiento mediante cadenas (a), rejas de movimiento oscilatorio (b), catenarias (c) y rejas accionadas mediante cables (d).

Figura N°6: Rejillas de limpieza mecánica.



Fuente: Horan 2003 (Hammeken & Romero, 2005)

En general las rejas de limpieza mecánica que emplean cadenas se suelen emplear en redes de alcantarillado de tipo separativo ya que son más modernas y eficientes en la retención de sólidos.

b. Trituradores

El objetivo de los trituradores es de reducir los sólidos suspendidos grandes, llevándolos a un tamaño que no interfiera con otros sistemas. Los sólidos triturados son entonces removidos del flujo en procesos de sedimentación posteriores. La selección de trituradores está basada en la tasa de flujo. En pequeñas plantas puede usarse una unidad individual estimada para el caudal pico en paralelo con un tamiz de barras de limpieza manual. En instalaciones más grandes se

usan múltiples unidades idénticas, ajustadas para que las máquinas restantes puedan manejar el caudal pico con una o dos fuera de servicio.

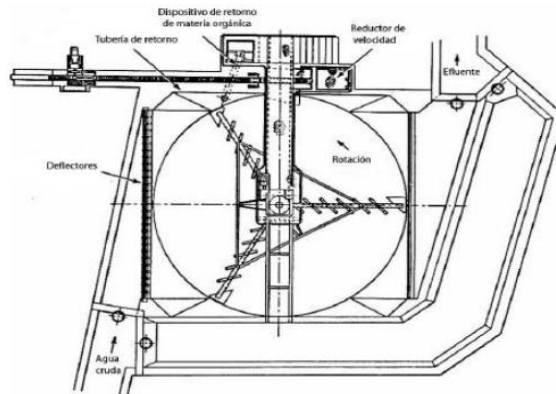
c. Desarenadores

Una parte de sólidos suspendidos en aguas residuales está constituida por materiales orgánicos inertes tales como arena, fragmentos de metal, cáscaras, etc. Esta arena no es benéfica para el tratamiento o técnicas de procesamiento de lodos, puede bloquear conductos y promover desgaste excesivo del equipo mecánico. Las arenas se remueven para proteger los equipos mecánicos, reducir la formación de depósitos de sólidos pesados, y reducir la frecuencia de limpieza de los digestores. Los dispositivos para la remoción de las arenas dependen de la diferencia de sus densidades específicas entre sólidos orgánicos e inorgánicos para efectuar su separación. Normalmente los desarenadores se ubican después de las unidades de tamizado y antes de tanques de sedimentación primaria. Esto facilita la operación y mantenimiento de los desarenadores. Los desarenadores más usados son:

Desarenador rectangular de flujo Horizontal: El flujo atraviesa el desarenador en dirección horizontal, controlándose la velocidad media del flujo mediante las dimensiones de la instalación o el uso de secciones de control provistas de vertederos especiales situados en el extremo de aguas abajo del tanque. En el diseño de este tipo de desarenadores, bajo las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena debe

alcanzar el fondo del canal antes de llegar al extremo de salida. La longitud del canal estará en función de la profundidad que requiera la velocidad de sedimentación y la sección de control.

Figura N° 7: Desarenador horizontal de flujo horizontal.



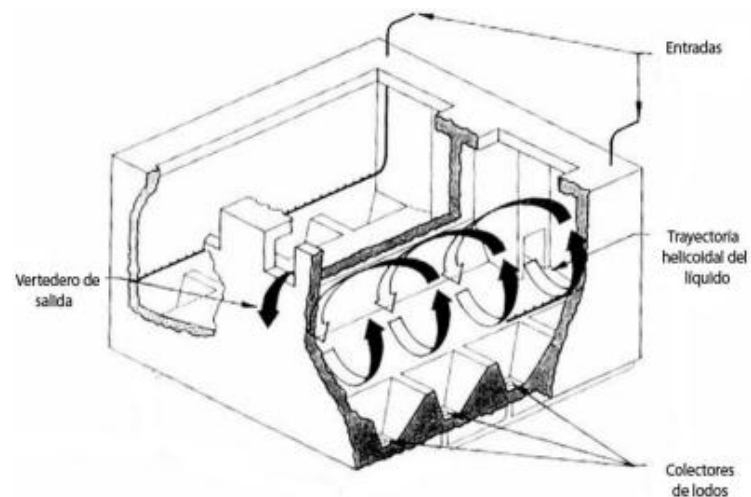
Fuente: Horan 2003 (Hammeken & Romero, 2005)

Se debe considerar cierta longitud adicional por la turbulencia que se produce en la entrada y en la salida, recomendándose un mínimo del doble de la profundidad máxima de flujo. A veces se usa una longitud adicional máxima del 50% de la longitud teórica. Los desarenadores cuadrados se diseñan con base en la carga superficial que depende del tamaño de partícula y de la temperatura del agua residual.

Desarenador aireado: Consiste en un tanque de aireación con flujo espiral en el que la velocidad es controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad del aire suministrado al mismo. Generalmente, estos tanques se proyectan para proporcionar periodos de detención de unos tres minutos a caudal máximo. La sección transversal del tanque es semejante a la proporcionada para la circulación en espiral en los tanques de aireación de lodos activados.

Los desarenadores aireados se diseñan para remover partículas de tamaño malla 70 (0.2 1 mm) o superior, con tiempos de retención de 2 a 5 minutos bajo condiciones de caudal pico horario. La velocidad de giro determina las partículas removidas de acuerdo con su gravedad específica. Con un ajuste apropiado es posible obtener 100% de remoción para un tamaño de partícula determinado y conseguir arena muy limpia. Para mejorar la eficiencia en la remoción de arenas se ubican deflectores tanto a la entrada como a la salida y así ejercer un control hidráulico sobre el elemento.

Figura N°8: Modelo de flujo helicoidal en un desarenador aireado



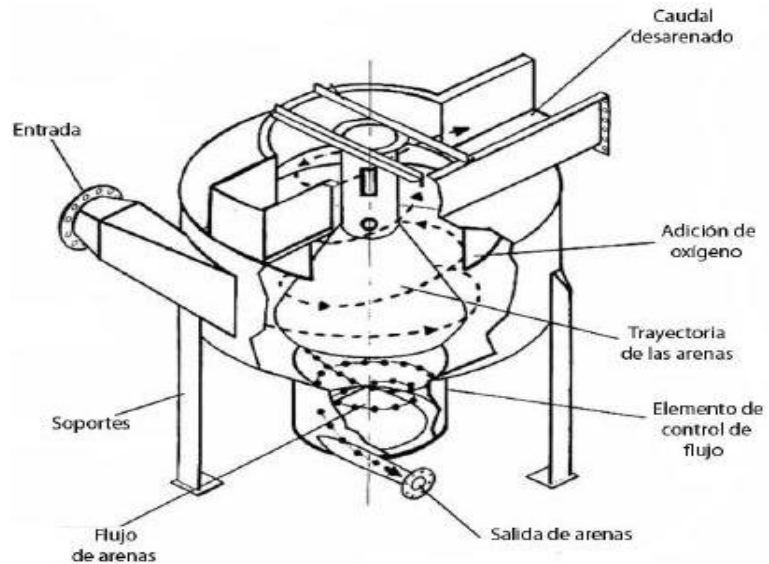
Fuente: Horan 2003 (Hammeken & Romero, 2005)

Desarenador de vortice: Consiste en un tanque cilíndrico en el que el agua entra siguiendo una dirección de flujo tangencial creando un flujo en vortice: las fuerzas centrífugas y gravitatorias son las responsables de la separación de las arenas.

Existen dos clases de desarenadores de vórtice. En el primero el diseño permite que tanto la salida como la entrada del agua sean en forma tangencial. En el

segundo tipo se genera un vórtice libre por acción del flujo tangencial de entrada. Si se instalan más de dos unidades se deben proveer arreglos especiales para la división de caudal.

Figura N° 9. Desarenador de vórtice.



Fuente: Horan 2003 (Hammeken & Romero, 2005)

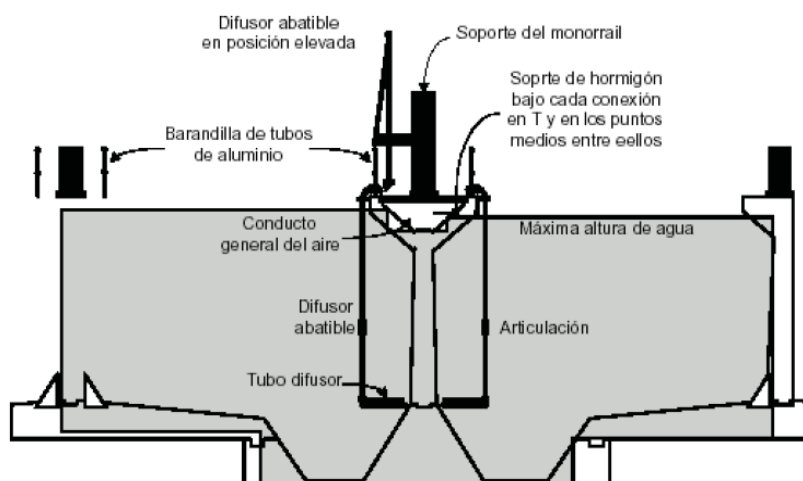
d. Tanques desgrasadores

Cantidades excesivas de grasa pueden taponar los filtros percoladores o recubrir flóculos biológicos en procesos de lodos activados. La grasa es removida mediante dispositivos desnatadores de superficies en tanques de sedimentación primaria, aunque las comunidades con altas concentraciones particularmente de grasa o plantas de tratamiento que omiten clarificación primaria pueden necesitar otros procesos. Los tanques desnatadores emplean entradas superficiales con deflectores y estructuras de salida que permiten la flotación del material que se va a retener.

e. Aireación preliminar

Si se provee la aireación de aguas residuales antes de cualquier otro tratamiento, varios son los efectos convenientes que se pueden presentar. Primero, la aireación eliminará compuestos volátiles (que son típicamente olorosos) e incrementará el contenido de oxígeno disuelto del flujo. Ambos efectos tenderán a reducir la producción de olor. La aireación, a través de la mezcla que la suministra, puede también mejorar en parte la remoción de grasa, ofrece oportunidad adicional para floculación de sólidos suspendidos y ayuda a uniformizar las características del flujo a medida que entra en los procesos subsiguientes. La aireación puede ser empleada como un medio de remoción de arena. En general, la Pre aireación es hecha en tanques desarenadores expandidos.

Figura N°10. Sección transversal típica de un desarenador aireado.



Fuente: (UMSS, 2009)

2.2.2.2. Tratamiento primario

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es la antesala para el trat. secundario.

a. Tanques de sedimentación

Los tanques de sedimentación pequeños pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados y normalmente no trabajan con equipos mecánicos. Los rectangulares pueden tener varias tolvas, mientras que los circulares y cuadrados normalmente tienen una tolva central. Las tolvas de lodos tendrán sus paredes con una inclinación de por lo menos 60 grados con respecto a la horizontal. Los tanques de sedimentación mayores deben usar equipos mecánicos para el barrido y transporte de lodos. Es preferible diseñar estos tanques con parámetros determinados en forma experimental, pero en el caso que no se consigan estos datos, se deben usar los criterios según la Norma S.090 (MVCS, 2006).

El sistema de entrada debe garantizar la distribución uniforme del líquido a través de la sección transversal y evitar cortocircuitos. También se deberá contar con un sistema de recolección de natas.

b. Tanques imhoff

Es considerado como un tratamiento primario debido a que además de tener una unidad de sedimentación

posee adicionalmente una unidad que sirve para la descomposición y digestión de lodos sedimentados el cual consiste en un depósito de dos pisos en el que se consigue la sedimentación en el compartimento superior y digestión en el inferior. Los sólidos que se sedimentan atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimento superior, pasando al compartimento inferior para su digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimentos de sedimentación así como en unos respiraderos de gas situados al lado de aquellos. El gas producido en el proceso de digestión se escapa a través de respiraderos. Para el diseño se debe utilizar los criterios según Norma S.090 (MVCS, 2006).

c. Fosa séptica

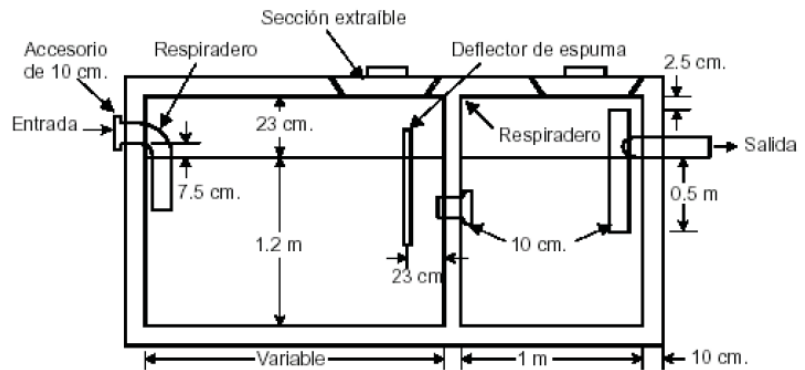
Este sistema tiene principal aplicación en el tratamiento de aguas residuales de residencias individuales, en zonas urbanas, que cuenten con redes generales de agua potable pero que carecen de una red de alcantarillado, o en zonas rurales que dispongan de norias o pozos con estanques de almacenamiento de agua. La fosa séptica es un estanque cubierto, construido de piedra, ladrillo, hormigón armado u otro material, generalmente rectangular, el cual se proyecta para que las aguas negras permanezcan en ella durante un tiempo determinado, que varía de 12 a 24 horas.

De los sólidos suspendidos que llegan a la fosa séptica, la mayor parte de la materia sedimentable decanta y entra en un proceso de digestión anaerobia. Por esta razón la cantidad de lodo que se acumula en el

estanque, con el tiempo, hace disminuir el volumen efectivo de la fosa séptica, y por consiguiente, el periodo de detención. Por lo general el lodo deberá extraerse cada dos o tres años.

Aunque a menudo se usen fosas de una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie (figura N°11). En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimiento se utiliza para la sedimentación, digestión del lodo y almacenamiento de éste. El segundo compartimiento proporciona una sedimentación y capacidad de almacenamiento de lodo adicional, y por tanto, sirve para proteger contra la descarga de lodo u otro material que pueda escaparse de la primera cámara.

Figura N°11. Grafica de una fosa séptica común



Fuente: (UMSS, 2009).

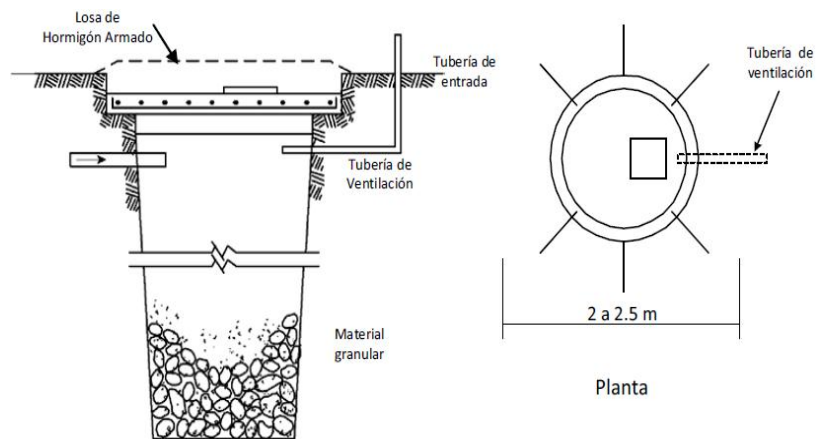
La fosa se construye de la forma más simple, con todas sus partes accesibles y susceptibles de ser aseadas, evitando el empleo de mecanismos o piezas móviles, pero asegurando la perfecta automatización del funcionamiento. Estará provista de una tapa de registro impermeable y hermética de no menos de 0.60 m de diámetro, que permita el acceso de un hombre y la extracción periódica de los lodos. Una fosa séptica no

constituye sino una parte de un tratamiento de aguas negras, el cual debe completarse con unidades tales como pozos absorbentes, sistemas de drenajes, zanjas filtrantes, filtros subterráneos de arena, cámaras de contacto, filtros superficiales de arena, etc.

d. Pozo absorbente

Consiste en una excavación en el terreno, por lo general de 2.00 a 2.50 m de diámetro, con una profundidad que normalmente varía de 6 a 12 m, al cual se vacían las aguas negras sedimentadas provenientes de la fosa séptica. En forma individual el pozo absorbente sólo se recomienda cuando se vacían sólo aguas de lavado, desagües de piscinas o aguas pluviales; para efluentes de fosas sépticas; cuando se dispone de bastante terreno y como solución transitoria.

Figura N°12. Pozo absorbente



Fuente: (UMSS, 2009).

Para determinar la profundidad del pozo debe hacerse la prueba de absorción a diferentes profundidades, y generalmente el término medio del coeficiente obtenido

sirve para determinar las características absorbentes del terreno. La duración de un pozo absorbente es muy prolongada y puede servir fácilmente durante 6, 8 o 10 años en operación continua, siempre que la fosa séptica opere en perfectas condiciones, esto se traduce en limpiezas periódicas (máximo cada 10 años) aunque la instalación domiciliaria no presente fallas en su funcionamiento.

2.2.2.3. Tratamiento secundario

Se destina a la degradación biológica de los compuestos carbonosos, se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Cuando se realiza esa degradación entonces ocurre naturalmente la descomposición de carbohidratos, aceites, grasas y proteínas a compuestos más simples, CO₂, H₂O, NH₃, CH₄, H₂S, etc. dependiendo del proceso predominante.

Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua. En el caso del agua residual doméstica, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y, en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo. Los procesos biológicos se dividen

en dos grupos; los anaerobios y los aerobios. Según la Norma S.090 (MVCS, 2006), se tienen los tipos de tratamiento de lagunas de estabilización, lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, biofiltros, y reactores.

2.2.2.4. Tratamiento terciario

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario. Tiene por finalidad remover compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes (Nitrógeno y Fosforo) y la materia orgánica remanente no biodegradable, así como la desinfección y la remoción de compuestos tóxicos y contaminantes. El arreglo de tratamiento debe ser el necesario para alcanzar esa calidad específica, lo cual implica una gran diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios. Según la Norma S.090 (MVCS, 2006), se tienen los tipos de tratamiento de ósmosis inversa, electrodiálisis, destilación, coagulación, remoción por espuma, microfiltración, extracción por solventes, intercambio iónico, oxidación química, precipitación, nitrificación y desnitrificación.

2.2.2.5. Tratamiento y disposición de lodos

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante que debe ser considerado para una buena elección del proceso de tratamiento. Los lodos, su tratamiento y evacuación es un problema complejo, especialmente si se tiene presente que el lodo producido por el tratamiento biológico que ha de eliminarse, se compone de la materia orgánica contenida en el agua residual sin tratar, pero en otra

forma, que también se descompondrá y se volverá desagradable, asimismo sólo una pequeña parte del lodo es materia sólida.

Los lodos podrán ser desechados si la legislación ambiental lo permite, en rellenos sanitarios municipales. Una opción sostenible para la disposición final es aprovecharlos como mejoradores de suelos o fertilizantes agrícolas, siempre y cuando cumplan con la normatividad asociada a la producción de biosólidos, nombre como se les conoce a los lodos tratados y acondicionados para su aprovechamiento en tierras. Según la Norma S.090 (MVCS, 2006) el tratamiento de lodos se puede lograr a través de los procesos como digestión anaeróbica, lagunas de lodos, aplicación de lodos sobre el terreno, remoción de lodos de las lagunas de estabilización, y lecho de secado.

2.2.2.6. Sistema de control de olores

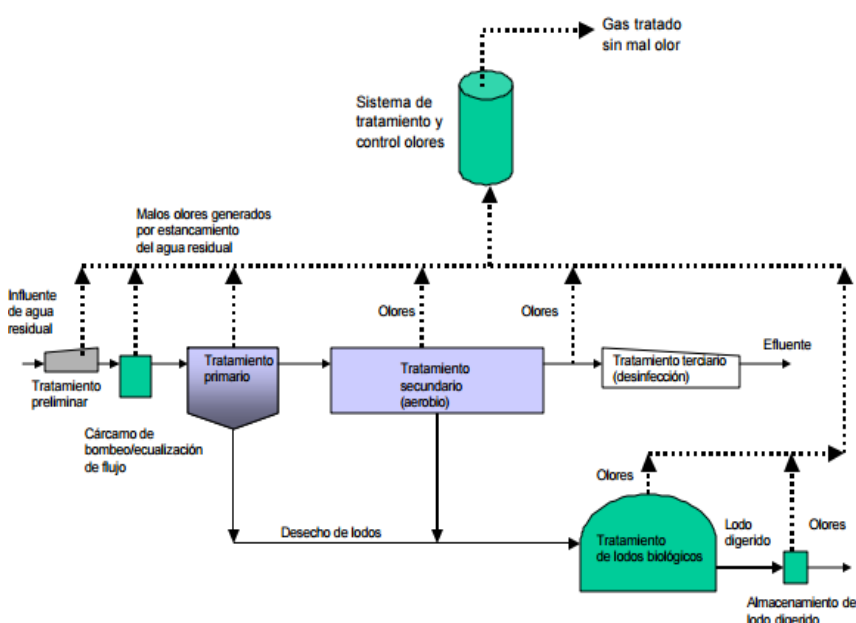
Uno de los problemas más importantes o tal vez el más importante relacionado con el rechazo de la población a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales es la generación de olores. (Morgan, Revah, & Noyola, 1999)

Toda planta de tratamiento mal diseñada y/o mal operada, sea de tipo fisicoquímico o biológica, de tipo aerobio o anaerobio, es susceptible de generar malos olores. Debido al metabolismo de ciertas bacterias el medio anaerobio es el más propenso a presentar malos olores, sobre todo cuando en el agua residual existen altas concentraciones de sulfatos y sulfuros. Como causas generales de la generación de olores en plantas de tratamiento se pueden mencionar el mal diseño de la planta de tratamiento,

deficiencias en la operación de la planta de tratamiento y en el caso del efluente de una planta anaerobia es posible el desprendimiento de H₂S disuelto en el agua tratada.

Aunque algunas causas de la generación de malos olores pueden ser evitadas, otras son difícilmente controlables si no se considera un sistema de control de malos olores. El control de malos olores en una planta de tratamiento de aguas residuales hace viable su instalación prácticamente en cualquier lugar. En la figura N°13 se muestra un esquema de una planta de tratamiento de agua donde se señalan las posibles fuentes de mal olor y su tratamiento.

Figura N°13. Representación de una planta de tratamiento con sus posibles fuentes de malos olores.

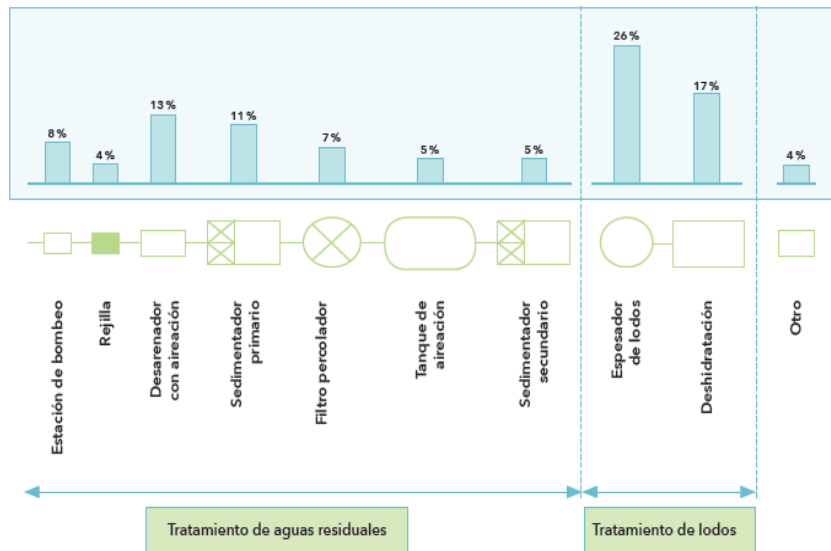


Fuente: (Martell, 2013)

Hay una gran necesidad de desarrollar tecnologías para remover el H₂S del agua tratada debido a su alta toxicidad, propiedades corrosivas, mal olor y demanda de oxígeno (Janssen, 1995). Los malos olores provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

siempre han estado presentes. La figura N°14 presenta las diversas fuentes de olores en un tren de tratamiento de aguas residuales municipales, con los porcentajes de ocurrencia para cada una de ellas.

Figura N°14: Principales fuentes de olores en una planta de tratamiento



Fuente: (UNAM, 2013)

En el trabajo “Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos” (Morgan, Revah, & Noyola, 1999) se presenta una revisión bibliográfica sobre el tratamiento de gases asociado con malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales a través de procesos biotecnológicos. Se describen las características técnicas más importantes de los biofiltros, biolavadores y biofiltros de lecho escurrido, así como costos comparativos, ventajas y desventajas.

Los sistemas de tratamiento para la eliminación de H₂S y en general para compuestos que generen malos olores pueden ser clasificados como tratamientos fisicoquímicos

(absorción, la adsorción, la oxidación térmica, química o catalítica, la centrifugación que eliminan partículas y/o aerosoles, la filtración y electrofiltración etc) o biológicos.

Investigadores en 1996 como Webster, Devinny, Torres, Barrai y en 1997 como Chou, Huang, Lesson, Smith, Sorial, Suidan, Pandit, Biswas y Brenner; coinciden en afirmar que los tratamientos fisicoquímicos son más costosos que los biológicos y cuando se trata de gases con bajas concentraciones de compuestos que producen mal olor y altos flujos de gas, esta diferencia se ve incrementada (Morgan, Revah, & Noyola, 1999). Es por ello, básicamente que se favorecen los procesos biológicos sobre los procesos fisicoquímicos. Para el tratamiento biológico de gases existen básicamente tres procesos de tratamiento, es decir, la biofiltración, los biolavadores y los biofiltros percoladores.

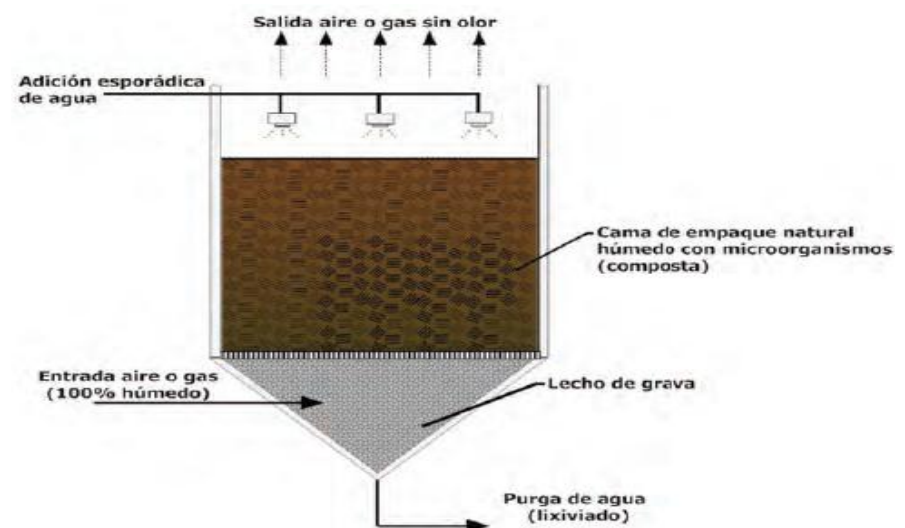
La biofiltración de corrientes gaseosas que consiste en el paso del gas a través de un lecho empacado biológicamente activo, donde los contaminantes son absorbidos y degradados biológicamente por la población microbiana transformándolos a CO₂, agua, otros productos oxidados del metabolismo y nuevo material celular (figura N°15)” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

El principal componente del biofiltro es el medio biológico filtrante, en donde los compuestos indeseables en el aire, en primera instancia, son absorbidos y adsorbidos para que puedan ser degradados posteriormente por los microorganismos. El material de empaque del medio biológico filtrante es una mezcla de materiales naturales con un área específica y espacios vacíos grandes, y que

puede ser composta, tierra o turba mezclada con un abultante (hojarasca, piedras pequeñas, etc.) o también materiales cerámicos con gran cantidad de poros en su superficie. El medio debe poseer la superficie, la humedad y los nutrientes necesarios para que en ella se desarrolle una biopelícula de microorganismos que serán los responsables de la degradación de los compuestos indeseables en el gas.

Los biofiltros han sido aplicados con éxito en el tratamiento de malos olores en plantas de tratamiento, así como en plantas de compostaje.

Figura N°15: Esquema de un biofiltro



Fuente: (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.)

2.2.3. Procesos aerobios

2.2.3.1. Sistemas de lagunas

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento secundario de las aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de microorganismos (algas, bacterias y protozoarios) y la materia orgánica contenida en el agua residual. Este tipo

de tratamiento se recomienda cuando se busca un alto grado de remoción de organismos patógenos (MVCS, 2006). En estos sistemas, la simbiosis entre bacterias y algas se aprovecha para degradar la materia orgánica; las primeras consumen materia orgánica y oxígeno y producen CO₂, mientras que las segundas consumen CO₂ y producen oxígeno por medio de la fotosíntesis, lo que mantiene concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas en la zona superior de la laguna. Un sistema de tratamiento basado en lagunas generalmente se compone de dos o tres estanques, conectados en serie como se ve en la figura N°16, cuyo efluente es utilizado para riego de áreas verdes.

Figura N°16: Sistema de lagunas empleado en el tratamiento de aguas residuales del Colegio La Inmaculada (Lima)



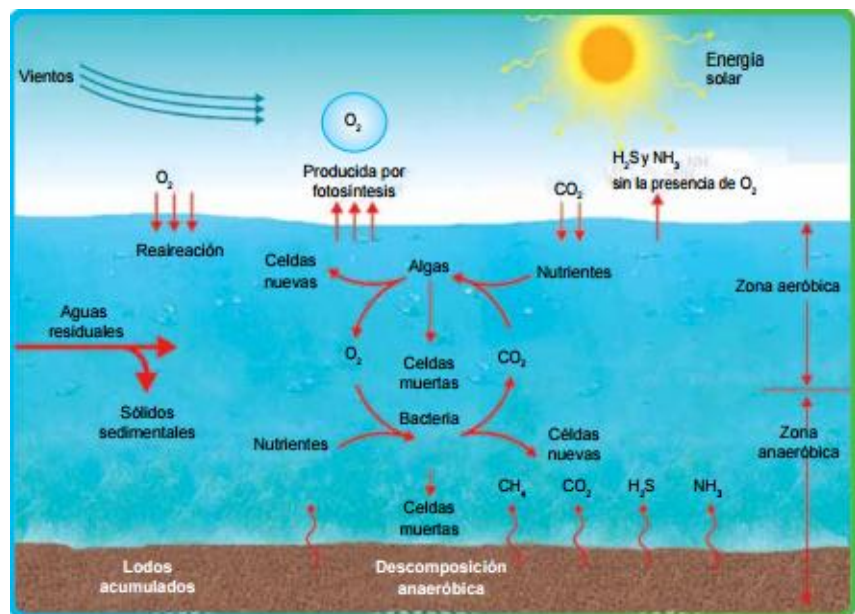
Fuente: (MINAM, 2009.).

Para la concepción del Proyecto, se deben seguir las siguientes consideraciones y recomendaciones de la Norma S.090 (MVCS, 2006).

Los sistemas de lagunas pueden estar conformados por varias unidades de tipo facultativas, maduración o pulimento, anaerobia y aireadas. La primera es del tipo **laguna facultativa** (zona aerobia en la parte superior y zona anaerobia en la parte inferior) con una profundidad entre 1 y 2 m pueden ser utilizadas como unidad única, o

por dos o más en serie, o como unidad secundaria de anaeróbicas y aireadas, en cuyo caso se les denomina lagunas de maduración. Los criterios de diseño deben ser determinados en forma experimental, teniendo en cuenta las temperaturas y mortalidad bacteriana. En el caso de no ser posible se utilizara los criterios recomendados por la Norma S.090 (MVCS, 2006).

Figura N°17. Interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas, en una laguna facultativa de estabilización.



Fuente: Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.).

La segunda es de tipo de **laguna de maduración o pulimento** (no hay zonas anaerobias). Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la

práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (Rolim, 2000). Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada (Rolim, 2000).

En los sistemas de lagunas existe la variante de **lagunas aireadas** que se emplean generalmente como primera unidad del sistema, en casos en que la disponibilidad de terreno sea escasa y se tenga una alta concentración de materia orgánica. Se distinguen de las lagunas facultativas principalmente porque se les suministra oxígeno mediante mecanismos de aireación artificial, generalmente con aireadores flotantes (figura N°18). No es recomendable utilizar lagunas aireadas en serie.

Figura N°18. Lagunas aireadas con aireadores mecánicos del Parque Zonal Huáscar.



Fuente: Manual para municipios eco eficientes (MINAM, 2009.).

Según la Norma S.090 (MVCS, 2006), en esta modalidad del proceso, dependiendo de la profundidad y de la potencia de agitación instalada, se tendrán varios tipos de lagunas aireadas:

- Lagunas aireadas de mezcla completa: Mantienen toda la biomasa orgánica en suspensión mediante una alta densidad de energía instalada. La profundidad varía de 3 a 5 m y el periodo de retención entre 2 y 7 días. Es recomendable el uso de aireadores de baja velocidad de rotación. Estas lagunas se dimensionan con una constante de degradación experimental que debe estar alrededor de 0.025 a 20°C y establecida en condiciones del mes más frío. Los requisitos de oxígeno se determinan para las condiciones del mes más cálido y en forma similar a los lodos activados. Normalmente estas lagunas se complementan con otras facultativas.

- Lagunas aireadas facultativas: Mantienen la biomasa en suspensión parcial. Estas lagunas tienden a acumular lodos en el fondo y favorecer el crecimiento de algas en la superficie en días con buena insolación. También es frecuente que se complementen con otras lagunas facultativas.

- Lagunas facultativas con agitación mecánica: Aplicada exclusivamente en unidades sobrecargadas en climas cálidos. Tienen una densidad de energía instalada tan baja que principalmente busca vencer la estratificación térmica en ausencia de viento. El diseño es similar a las lagunas facultativas y el uso de los aireadores puede ser intermitente.

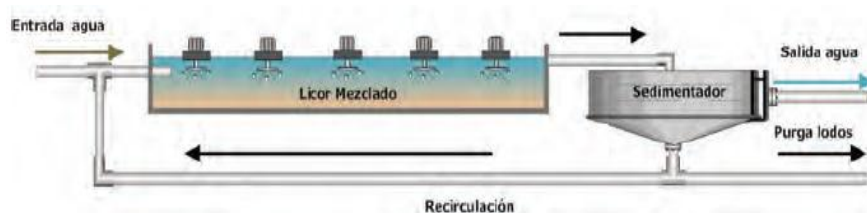
Los lodos que se generan y se sedimentan en lagunas deben ser evacuados en intervalos de tiempo de 1 a 5

años para lagunas anaerobias, y de 10 a 20 años para facultativas y de pulimento, según la carga de sólidos que reciban. El grado de estabilización del lodo generalmente permite la disposición en campo o en relleno sanitario. El esquema recomendado para el secado y evacuación de lodos en una laguna es el diseñar desde un inicio dos sistemas de lagunas en paralelo, con el fin de poder sacar de operación la laguna de la que serán retirados los lodos, sin que esto afecte en grado importante el tratamiento del agua residual (Metcalf & Eddy, 1995). Una vez evacuada el agua de la laguna, se deja secar el lodo al exponerlo al sol hasta que puede ingresar maquinaria de movimiento de tierras para cargar los camiones de lodo que lo conducirán al sitio de disposición final. Esta acción debe programarse para la temporada del año en que no se presentan lluvias (estiaje).

2.2.3.2. Lodos activados

Este proceso ha sido y es uno de los más utilizados en el mundo para el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.). En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios mecánicos o de inyección de aire, ésta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado; a la mezcla de este lodo con el agua residual se llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta (figura N°19).

Figura N°19. Sistema de lodos activados



Fuente: (UNAM, 2013)

Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica. Debido a que en el tanque de aireación se produce lodo activado por la reproducción de los microorganismos, una cierta cantidad debe ser desechada del sistema con el objeto de mantener constante su concentración en el tanque de aireación; esto es lo que se conoce como lodo de purga. Por otra parte, un requerimiento básico del sistema de lodos activados es su adecuada aireación, que puede ser realizada mediante difusores de aire o aireadores mecánicos.

El proceso de tratamiento de lodos activados tiene una serie de variantes; donde los sistemas de flujo pistón, totalmente mezclado de media carga y el de aireación extendida (baja carga) son los más comunes (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.) Una de las variantes es el **reactor secuencial** por lotes (SBR) que opera en forma discontinua con las etapas de alimentación, reacción, sedimentación y vaciado. Este sistema se lleva a cabo en un solo tanque, el cual cuenta con dispositivos para proveer aeración, mezclado y sedimentación. Este sistema debe contar con al menos dos tanques que funcionen en forma alternada.

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

En el **reactor con flujo pistón** la concentración de materia orgánica es función de su ubicación en el tanque, de longitud considerable en comparación con su profundidad y anchura. Este tipo de reactor se puede definir teóricamente como una sucesión infinita de tanques totalmente mezclados con volumen diferencial que le confieren una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

Por otra parte; **lodos activados de aireación extendida** son una variación del proceso convencional de lodos activados, que básicamente convierte, gran porcentaje de la materia orgánica del efluente, en partículas sólidas, aglutinadas (MINAM, 2009.). En la aireación extendida se prescinde del sedimentador primario, de forma que la totalidad de la materia orgánica es recibida en el tanque de aeración. La baja carga orgánica y el largo tiempo de residencia de lodos de esta variante, permiten alcanzar la estabilización del lodo, mediante un proceso similar al de la digestión aerobia, realizado en forma simultánea al consumo de la materia orgánica del influente. Esta variante simplifica considerablemente el manejo de lodos, aspecto importante sobre todo en pequeñas plantas de tratamiento. Sin embargo el costo por energía eléctrica es mayor por unidad de agua tratada en comparación con la variante convencional o completamente mezclada.

En años recientes se desarrolló tecnología que permite incorporar las ventajas de la biomasa fija a los sistemas de lodos activados, a este sistema se le ha llamado **reactor biológico de cama móvil o MBBR** (Moving Bed Bio-Reactor). Este sistema consiste en colocar dentro del tanque de aireación piezas de empaque de talla pequeña (1 a 2 cm de lado o diámetro) y de densidad semejante a la del agua, en un 30 a 40 % del volumen de dicho tanque (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.). Este empaque, que sirve de soporte para la adhesión de microorganismos, se mantiene en suspensión en el licor mezclado por lo cual se mueve en conjunto con él en todo el volumen de aireación. El empaque permite concentrar el microorganismo en el licor mezclado, lo cual hace que el sistema absorba picos orgánicos con mayor facilidad y permita un diseño de tanques con menor volumen.

La Norma S.090 elige solo aquellas variantes que permiten alcanzar una remoción de 75 a 95% de DBO. Para el diseño de cualquier variante de lodos activados se considerara las disposiciones generales de la Norma S.090.

Las **zanjas de oxidación** constituyen una forma especial de aireación prolongada con bajos costos de instalación, ya que no es necesario el la decantación primaria y el lodo estabilizado en el proceso puede ser desaguado directamente en lechos de secado. Es un proceso de operación simple y con capacidad para absorber variaciones bruscas de carga. Los criterios de diseño son los mismos que para todos los procesos de lodos activados, sin embargo La Norma S.090 nos brinda recomendaciones que debemos usarlas.

La otra parte importante del proceso de los lodos activados son los **sedimentadores secundarios** que deben ser diseñados con datos experimentales. Si no se cuenta con pruebas de sedimentación, el diseño se debe efectuar para caudales máximos horarios y teniendo en cuenta los parámetros que se citan en la tabla N°5.

Tabla N°5. Parámetros para el diseño de sedimentadores secundarios

Tipo	Carga de superficie (m ³ /m ² .día)		Carga (kg/m ² .hora)		Profundidad (m)
	Media	Máxima	Media	Máxima	
Sedimentación a continuación de todos los procesos de lodos activados, excepto la aireación prolongada	16-32	40-48	3-6	9	3.5-5.0
Sedimentación a continuación de la aireación prolongada	8-16	24-32	1-5	7	3.5-5.0

Fuente: Norma S.090, (MVCS, 2006)

Los decantadores circulares con capacidades de hasta 300 m³ pueden ser diseñados sin mecanismo de barrido de lodos, ya que la remoción se puede hacer a través de tuberías con un diámetro mínimo de 200 mm. Aquellos decantadores que si cuentan con mecanismo de barrido de lodos deben tener una tolva central para acumular lodos, de por lo menos 0.6 m de diámetro y 4 m de profundidad. El fondo debe tener una inclinación de 1:12 y la velocidad periférica del barredor de lodos estará comprendida entre 1.5 a 2.5 m/minuto y no mayor de 3 revoluciones por hora. El retorno de lodos será continuo y se podrá utilizar bombas centrífugas o de desplazamiento positivo.

Los decantadores rectangulares constituyen la segunda opción y tendrán una relación largo/ancho mínima de 4 a 1 y una relación ancho/profundidad entre 1 y 2. Los decantadores menores a 300 m³ no requieran mecanismos de barrido de lodos. En los que si tengan, la

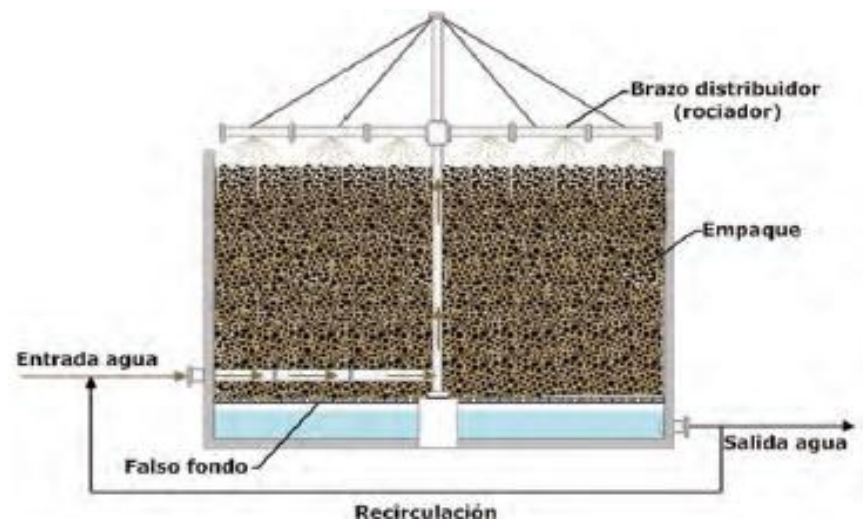
remoción se realizará en forma intermitente, entre periodos de viaje del mecanismo. En este caso el lodo será bombeado a una cámara de repartición con compuertas manuales y vertederos para separar el lodo de exceso. Alternativamente se puede descargar el lodo de exceso directamente al tanque de aireación. Si la edad del lodo es de 20 días, se deberá desechar diariamente 1/20 del volumen del tanque de aireación. (Moscoso, 2011)

2.2.3.3. Filtro percolador

Los filtros percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. El agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante formando una película biológica que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica. El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánica, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. (MINAM, 2009.). “El material de empaque ideal debe contar con una alta relación área/volumen, ser inerte, resistente, durable y de bajo costo” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.). Todos los empaques utilizados como medio filtrante, buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se desarrolla la masa biológica útil para el tratamiento. En el filtro se dan procesos de consumo de la materia orgánica donde los microorganismos se nutren de las sustancias orgánicas contenidas en el líquido entrante y las asimilan, por lo que el efluente sale con menor carga contaminante. (MINAM, 2009.).

Los filtros percoladores se operan con distintas cargas orgánicas y superficiales en función de la presencia o no de recirculación. La tasa de recirculación depende de la cantidad de agua tratada que se retorna a la entrada y de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor. Una característica importante a resaltar de este sistema de tratamiento es que la aireación se efectúa por convección natural, es decir, el aire fluye a través del medio empacado por diferencia de temperaturas entre el ambiente interno del reactor y el externo (Metcalf & Eddy, 1995). Ello conlleva el no uso de sistemas de aireación que consuman energía y es posible obtener eficacias de remoción de contaminantes del orden del 70 a 85% en función de la carga aplicada (figura N°20).

Figura N°20. Esquema de un filtro percolador.



Fuente: (UNAM, 2013)

La Norma S.090 propone utilizar aquellos filtros percoladores que reduzcan al mínimo la utilización de equipo mecánico, tales como lechos de piedra, distribución de efluente primario (tratado en tanques Imhoff) por medio de boquillas o mecanismos de brazo giratorio autopropulsados, sedimentadores secundarios sin

mecanismos de barrido y retorno del lodo secundario al tratamiento primario.

Figura N°21: Filtro percolador modificado ubicado en el parque María Reiche del distrito de Miraflores, Lima.



Fuente: Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.).

Los filtros percoladores pueden ser de baja y alta carga, cuyos parámetros se indican en la tabla N°6.

Tabla N°6. Parámetros recomendados para los filtros percoladores de baja y alta carga

Parámetro	Tipo de carga	
	Baja	Alta
Carga hidráulica (m ³ /m ² /día)	1.00-4.00	8.00-40.00
Carga orgánica (kg DBO/m ³ /día)	0.08-0.40	0.40-4.80
Profundidad lecho de piedra (m)	1.50-3.00	1.00-2.00
Profundidad medio plástico (m)	Hasta 12.00	
Razón de circulación	0	1.00-2.00

Fuente: Norma S.090, (MVCS, 2006)

Para el diseño se deberán tener en cuenta las disposiciones generales dadas por la Norma S.090 (MVCS, 2006).

2.2.3.4. Discos biológicos rotatorios

Este sistema, también conocido como biodisco, consiste en un empaque circular giratorio en el cual se encuentra la biomasa adherida. El disco rota sobre su eje lentamente (2

a 5 rpm) con un 40% de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. El agua tratada pasa después a un sedimentador secundario, en donde se separa la biopelícula desprendida, que constituye los lodos de purga del sistema y que hay que tratar antes de su disposición final. El proceso no requiere recirculación y sus costos de operación son reducidos.

En general, se realizan arreglos de dos o tres tanques de discos biológicos en serie, lo que puede llevar a altas eficacias de remoción de materia orgánica y de nitrificación. En el tratamiento del agua residual doméstica se alcanzan eficacias del 90 al 95% en la remoción de la DBO5. Este proceso puede ser utilizado en climas fríos con mayor versatilidad que otros, debido a que opera protegido por una cubierta. Desde el punto de vista de la conceptualización del proceso, este sistema es ingenioso y evita la difusión forzada de oxígeno en el agua, con el consecuente ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Sin embargo, el mayor punto débil del sistema no está en el proceso biológico, sino en el mecánico, ya que el sistema se encuentra soportado en un eje metálico que descansa en rodamientos (chumaceras), elementos que pueden fallar durante la operación debido a desalineamiento o a mala lubricación.

Son unidades que tienen un medio de contacto colocado en discos o cilindros que rotan y que están sumergidos hasta 40% de su diámetro, de modo que al rotar permiten que la biopelícula se ponga en contacto alternadamente con el efluente primario y el aire. Los módulos rotarios pueden tener los medios de contacto de mallas cilíndricas rellenas de material liviano y discos de madera, material

plástico o metal, ubicados en forma paralela para permitir una gran superficie de contacto que favorezca el desarrollo máximo de la biopelícula. Para el diseño de estas unidades se debe tener en cuenta las recomendaciones de la Norma S.090.

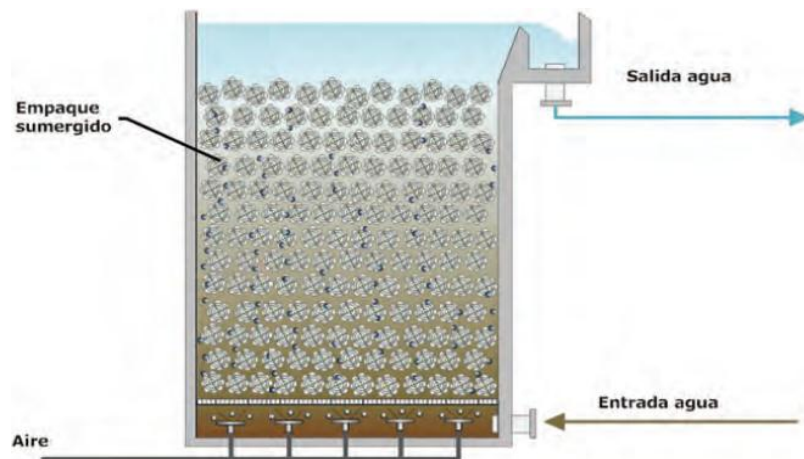
Se destaca en el artículo “Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia” (Torres, Pérez, Vásquez, Madera, & Rodríguez, 2011) que el sistema de biodiscos, aunque mostró un buen desempeño para el tratamiento del efluente primario, su aplicabilidad a escala real podría verse limitada debido a los problemas operacionales evidenciados durante la evaluación del sistema, asociados principalmente al desprendimiento de la biomasa ocasionada por la suspensión ocasional del fluido eléctrico.

2.2.3.5. Filtro Sumergido Aerobio (FSA)

El sistema de filtro sumergido aerobio (FSA) se compone de un tanque empacado con elementos plásticos, cerámicos o piedras de pequeño tamaño (menos a los 2 cm). El empaque provee área para la adherencia de los microorganismos y se encuentra sumergido en el agua residual. El oxígeno debe ser incorporado al agua mediante difusores colocados en el fondo del reactor y acoplados a un sistema de compresión de aire. Un filtro sumergido no contiene en el interior del tanque partes móviles y combina un tratamiento con base en biopelícula y biomasa en suspensión, características que le permiten alcanzar una concentración alta de microorganismos,

proporcionándole capacidad para el tratamiento de altas cargas de materia orgánica y estabilidad en su operación. Cuando se manejan altas fluctuaciones de caudal este sistema es muy adecuado, debido a que la biomasa, estando adherida al empaque que se encuentra inmóvil dentro del reactor, resiste el paso del agua a mayores velocidades de flujo de agua o picos hidráulicos, como es el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas. El uso de este sistema en plantas de mayor tamaño se complica por el costo del empaque y/o el peso y desplazamiento de volumen de éste que debe ser compensado con una estructura civil más resistente y de mayor tamaño. La resistencia mecánica del empaque debe además asegurarse, ya que el aire inyectado en la base del tanque ejerce un efecto abrasivo, que no se presenta en los filtros percoladores convencionales (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

Figura N°22. Esquema de un filtro sumergido aerobio



Fuente: (UNAM, 2013)

2.2.3.6. Reactor aerobio acoplado a membranas

El término Reactor Biológico de Membrana (MBR) hace referencia a la combinación de un proceso de fangos

activos y de separación mediante membranas. Las recientes innovaciones técnicas y las reducciones significativas de costes está conduciendo a un aumento en la aplicación de la tecnología MBR al tratamiento de aguas residuales, tanto municipales como industriales. Algunos de los aspectos más atractivos de los MBR son su bajo requerimiento de espacio, su carácter modular, la flexibilidad en las configuraciones, su estabilidad y la eliminación de los problemas asociados a la sedimentación de los lodos. (REMTAVARES, 2008.)

Son sistemas compactos que se integran al acoplar un tanque de aireación completamente mezclado con un módulo de membranas de micro o ultrafiltración. Las primeras retienen partículas hasta 0.1 micras y las segundas hasta 0.01 micras. Estos módulos pueden ser externos al reactor o bien sumergidos en el mismo tanque (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

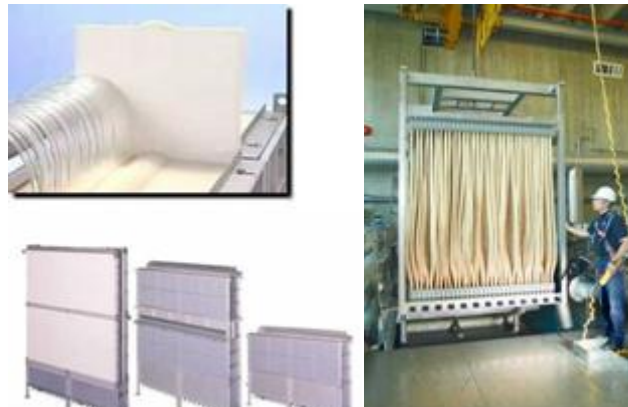
Actualmente en Madrid, España existen seis configuraciones principales en los procesos de membrana existiendo diferencias prácticas con beneficios y limitaciones distintas. Las membranas empleadas en este tipo de aplicaciones se sitúan entre los rangos de micro y ultrafiltración, con un tamaño medio de poros entre 0.03 y 0.5 μm según el fabricante. Las configuraciones son tanto de geometría plana como cilíndrica distinguiéndose: placa plana, fibra hueca, multi tubular, tubo capilar, filtro de pliegues y espiral.

La elección de cada configuración depende del tipo de efluentes que deben tratarse y de las características del licor mezcla, teniendo en cuenta parámetros como la viscosidad, temperatura, oxígeno disuelto, tendencia a formar espumas, características de los flóculos, la

hidrofobicidad y la carga superficial, la presencia de exopolímeros celulares, productos microbiológicos solubles, etc. Los tipos de membranas más empleadas en los MBR son las de fibra hueca y placa plana (figura N°23).

Las ventajas de este tipo de sistemas es la muy alta calidad de agua obtenida (libre de sólidos suspendidos y de microorganismos patógenos comparados con un tratamiento terciario) y lo compacto de la instalación. Sus desventajas son el costo de las membranas y el taponamiento que sufren, lo que implica procesos de limpieza frecuentes y una vida útil de dos o tres años en el mejor de los casos.

Figura N°23. Aspecto general y configuraciones de membranas de placa plana (izquierda) y fibra hueca (derecha).



Fuente: (REMTAVARES, 2008.)

2.2.4. Procesos anaerobios

Según los autores Noyola, Padilla, Morgan, Guereca y Hernandez en el 2012; la clasificación común de las diversas configuraciones de sistemas anaerobios se hace en base a 3 generaciones (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.). En la tabla N°7 se clasifica las tres generaciones de sistemas anaerobios

considerando como factores de diferenciación la interacción sustrato-microorganismo, la relación tiempo de retención celular con respecto al tiempo de retención hidráulica y el tiempo de retención hidráulica en sí.

En la actualidad, se avanza en el desarrollo de sistemas anaerobios acoplados con membranas de micro o ultrafiltración, en seguimiento a los avances logrados con los reactores aerobios de este tipo. Un ejemplo de esto es la tesis (Robles, 2009). El sistema anaerobio (tipo UASB o uno completamente mezclado) más la membrana que filtra tanto el lodo como el material coloidal, logran una alta calidad de agua tratada sin necesidad de un postratamiento aerobio. En el caso de la ultrafiltración, no se requiere una desinfección pues los microorganismos patógenos son también retenidos. La interacción sustrato- microorganismo es excelente al estar el sistema anaerobio mezclado y debido a la barrera física que representa la membrana, el lodo permanece en su totalidad dentro del sistema (adecuada relación TRH/TRC). Aunque conceptualmente es adecuado el sistema, aun no se puede considerar una aplicación comercial generalizada.

Tabla N°7. Clasificación de los sistemas de tratamiento anaerobio

TIPO O GENERACIÓN	REACTOR	INTERACCIÓN SUSTRATO-MICROORGANISMO	RELACIÓN TRH/TRC	TRH	ANTIGÜEDAD DEL DESARROLLO
I	Fosa séptica	X	✓	Días	50 a 100 años
	Laguna anaerobia	X	✓		
	Tanque Imhoff	X X	✓ ✓		
	Digestor baja tasa	X	✓		
	Digestor alta tasa	✓ ✓	X		
	*Contacto anaerobio	✓ ✓	✓		
II	Filtro anaerobio	✓	✓ ✓	Horas	30 a 40 años (EGSB 15 años)
	UAS B	✓	✓		
	*EGSB	✓ ✓	✓		
III	Lecho fluidificado	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	Minutos	15 años

Fuente: (UNAM, 2013).

2.2.4.1. Fosa séptica

2.2.2.4.1. Tratamiento primario, c. Fosa Septica

2.2.4.2. Tanque imhoff

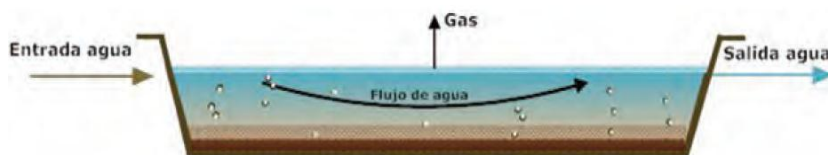
2.2.4.2.1. Tratamiento primario, c. Tanque Imhoff

2.2.4.3. Lagunas anaerobias

Generalmente se usan como una primera etapa del tratamiento, cuando la disponibilidad de terreno es limitada, o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales y una limitada disponibilidad de terreno. No es recomendable el uso de este tipo de lagunas en zonas donde la temperatura sea menor a 15°C y haya presencia de alto contenido de sulfatos (mayor a 250 mg/L). Se deberá diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo, para permitir la operación en una de las unidades, mientras se remueve el lodo de la otra. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodo acumulado supere el 50% del tirante de la laguna. (MINAM, 2009.)

Las lagunas anaerobias consisten en tanques profundos (hasta 10 m) normalmente sin cubierta para captar el biogás (figura N°24). Por ende, un punto particularmente problemático son los malos olores asociados con estos sistemas. Las lagunas anaerobias cuando se aplican como primer elemento de un sistema de lagunas tienen profundidades entre 2 y 5 metros.

Figura N°24. Laguna anaerobia



Fuente: (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.)

El parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días (Romero, 1999). Para el diseño de estas lagunas se deben tener en cuenta los criterios dados en la Norma S.090 (MVCS, 2006).

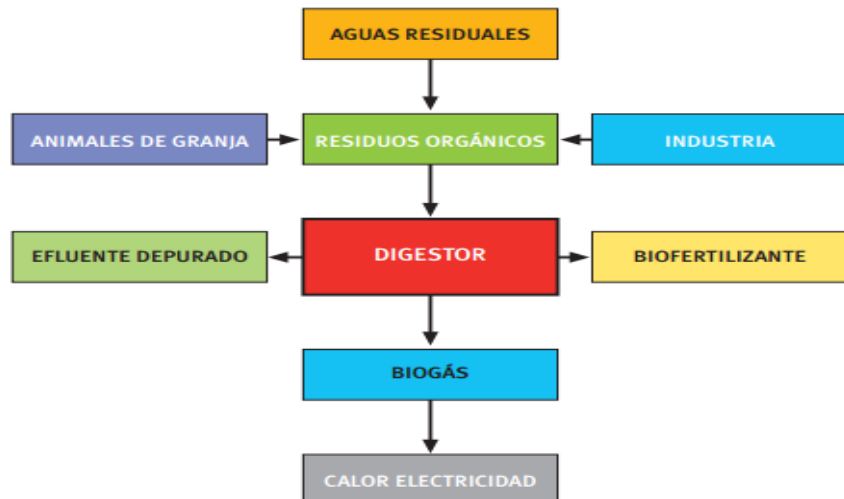
2.2.4.4. Digestor anaerobio

La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. En este proceso, la materia contenida en los lodos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este proceso se lleva a cabo en un reactor herméticamente cerrado, de forma continua e intermitente, y la materia permanece en su interior durante periodos variables. (MINAM, 2009.) La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacteria específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación (figura N°25).

La digestión anaerobia es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica,

como las producidas en muchas industrias alimentarias. (IDAE, 2007)

Figura N°25. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia.



Fuente: (IDAE, 2007)

Según el libro “selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, 2013” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.), se distinguen dos tipos de digestores:

Digestor anaerobio convencional (sin mezcla): Este sistema se ha aplicado principalmente para la estabilización de sólidos de aguas residuales altamente concentradas así como de los lodos de desecho provenientes del proceso de lodos activados, aunque en la actualidad sus limitadas eficiencias han hecho que sea sustituido por la versión completamente mezclada (alta tasa). Consiste de un tanque cerrado sin agitación y sin calentamiento, donde el desecho a tratar se estratifica en zonas definidas. La zona microbiana activa ocupa cerca

del 30% del volumen total del tanque. Posee tiempos de retención hidráulica mayores a 60 días.

Digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento): Este sistema posee la misma función que el digestor anaerobio convencional, sin embargo, la diferencia radica en el mezclado y control de temperatura mediante calentamiento del medio. El mezclado del tanque favorece la interacción entre el sustrato a degradar y el microorganismo lo cual, aunado al incremento de la temperatura del interior al valor óptimo (entre 34° y 37°C), incrementa la eficacia de digestión frente a la variante convencional. Ello conlleva la reducción del tiempo de retención hidráulica (y celular) a valores que fluctúan entre los 15 a 20 d y tanques de volumen menor.

Este sistema se utiliza comúnmente para la digestión de lodo proveniente de sistemas de lodos activados en plantas de tratamiento de aguas residuales con caudales superiores a los 500 l/s; su uso en plantas pequeñas no es conveniente por aspectos de costo y economías de escala; en su lugar, cuando se opta por sistemas de tratamiento aerobio, se hace uso de digestores aerobios o bien de la variante del lodo activado tipo aireación extendida, que no requiere de una digestión del lodo adicional, pues se lleva a cabo en el mismo tanque de aireación, a costa de un mayor consumo de energía eléctrica por los aeradores.

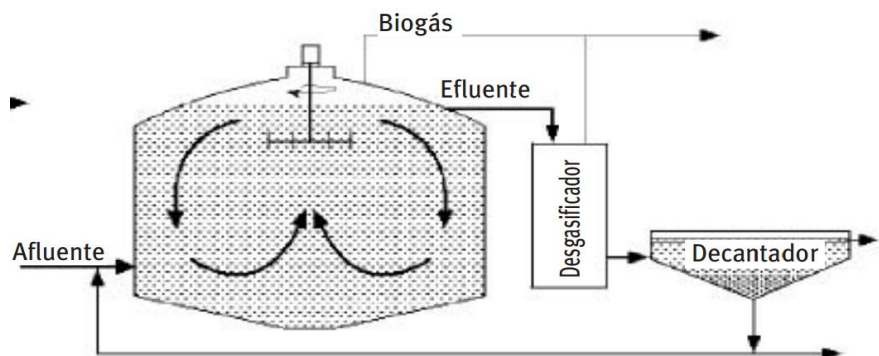
2.2.4.5. Reactor de contacto anaerobio

Este sistema tiene el nombre de reactor de mezcla completa con recirculación y sería el equivalente anaerobio de los lodos activados aerobios (figura N° 26).

Regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa, esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y recirculación. Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica, para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida. (IDAE, 2007)

El punto problemático en este sistema lo constituye la adecuada separación de los lodos anaerobios en el decantador, pues tienen tendencia a flotar, debido a las burbujas de biogás atrapadas en el interior del flóculo. Esto se llega a solucionar colocando un sistema de desgasificación entre el reactor y el decantador, que funciona con mezclado y bajo un ligero vacío para su extracción. Este sistema en la actualidad ha sido sustituido por otras tecnologías más eficientes y compactas.

Figura N° 26. Esquema de reactores sin retención interior de biomasa.



Fuente: "Biomasa: Digestores Anaerobios", (IDAE, 2007)

2.2.4.6. Filtro anaerobio

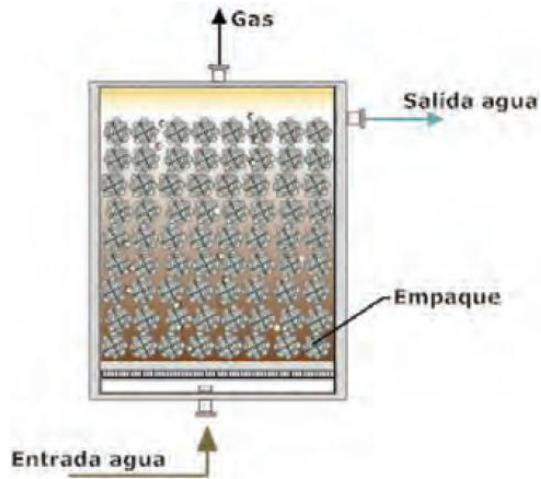
Este sistema de reactores de lecho fijo o filtros anaerobios (segunda generación), consiste en un reactor inundado de flujo ascendente o descendente empacado con soportes plásticos o piedras de 3 a 5 cm de diámetro promedio (figura N°27). Este sistema puede aplicarse en el tratamiento de aguas residuales de casas habitación debido a su alta resistencia a la fluctuación en caudales. En general son indicados para el tratamiento de aguas residuales o para sistemas de tratamiento que cuenten con unidades de retención de sólidos aguas arriba (fosa séptica). El agua residual atraviesa el lecho empacado permitiendo la interacción entre el sustrato en el agua residual y el microorganismo adherido al empaque. Existe un manto de material inerte que sirve como soporte para los microorganismos, que van formando una capa de biomasa adherida, debido a esto, su tiempo de retención celular es mayor al tiempo de retención hidráulica manejado.

La eficiencia de remoción para DQO está alrededor del 65% para aguas residuales de tipo doméstico. Instalaciones a escala mayor pueden no ser recomendables.

En Brasil, existen experiencias que integran un reactor anaerobio de tipo lecho de lodos con un filtro anaerobio como elemento de postratamiento. Daniel A. Nolasco menciona en 2010 que este arreglo mejora el desempeño del reactor de lecho de lodos al retener sólidos suspendidos que pueden escapar y aporta un ligero incremento en la remoción de la materia orgánica; de cualquier forma, es necesario introducir una etapa de postratamiento al filtro anaerobio para alcanzar

condiciones de descarga acordes con la normativa ambiental. (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.)

Figura N°27. Filtro Anaerobio



Fuente: (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.)

2.2.4.7. Tratamiento anaeróbico de flujo ascendente

De acuerdo a la norma S.090 (MVCS, 2006) el tratamiento anaeróbico de flujo ascendente es una modificación del proceso de contacto anaeróbico y se trata de un reactor en el que el agua ingresa por un sistema de distribución localizado en el fondo, por lo que luego fluye hacia arriba atravesando un medio de contacto anaeróbico. En la parte superior tienen una zona de separación de las fases líquida y gaseosa, permitiendo finalmente que el efluente clarificado salga por la parte superior. Las principales ventajas del proceso son que elimina el proceso de sedimentación, trabaja cortos periodos de retención, produce biogás y puede ser aplicado a las aguas residuales con alta concentración

Las desventajas de este proceso son el control operacional especializado y de alto costo, la remoción

bacteriana muy baja, la remoción de parásitos nula, la sensibilidad a los cambios bruscos de temperatura, la infraestructura se deteriora por corrosión y la necesidad de ser complementado por un tratamiento posterior, ya que convierte el nitrógeno orgánico en amoníaco, gas que es tóxico y por tanto se requiere oxígeno adicional para su nitrificación. Existen varios reactores anaeróbicos de flujo ascendente, pero los más usados son los siguientes:

- Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente: El reactor anaerobio de lecho de lodos UASB (upflow anaerobic sludge blanket) de los sistemas de tratamiento anaerobio es el más sencillo de mantener porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo.

Existen ventajas significativas en el uso de UASBs, notablemente el tamaño compacto de dicho tipo de sistema, sin prácticamente ningún equipo en el recipiente anaeróbico. Esto resulta en menores costos de construcción y operación, menor consumo de energía y menor producción de lodo en exceso (Jordão & Além, 2004). Su diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar (No requiere material de empaque para retener los microorganismos), haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo que es la unidad cama de lodos (biomasa anaerobia granular o floculada). El agua residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el postratamiento,

esto favorece la buena sedimentación de los gránulos o flóculos anaerobios que pudieran haber atravesado las campanas colectoras de biogás. La zona de expansión de lodo es la ubicada entre la cama de lodos y las campanas colectoras de biogás, en esta zona se aloja el lodo expandido por la acción del biogás y la velocidad ascendente del agua.

Los tiempos de permanencia son relativamente cortos. Los parámetros de diseño usualmente empleados para el cálculo de las dimensiones de la unidad según (MINAM, 2009.) Se dan en la siguiente tabla N°8:

Tabla N°8: Principales parámetros de diseño empleados para Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente

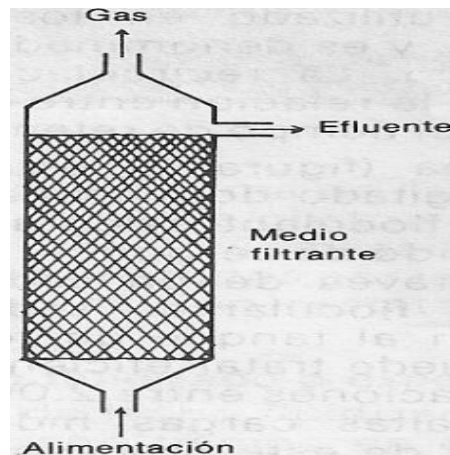
Criterios	Para flujo promedio
Carga volumétrica hidráulica.	<4.0 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica.	6.0 - 9.0 h
Velocidad ascendente.	0.5 - 0.7 m/h
Tasa de sobreflujo en la zona del clarificador.	14.4 - 19.2 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica en la zona del clarificador	1.5 - 2.0 h
Producción de sólidos.	0.1 - 0.2 kg. TSS/kg. Infl. COD
Concentración en exceso de lodo.	2.0 - 5.0 por ciento
Peso específico del lodo.	1020 - 1040 kg. SST/m ³

Fuente: Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.)

La particularidad de un reactor UASB radica en el hecho de retener mediante sedimentación los microorganismos en forma de gránulos o flóculos densos, lo que aumenta considerablemente el tiempo de retención celular (TRC). Con esto es posible operar el sistema con reducidos tiempos de retención hidráulica (TRH) y con volúmenes de reactor limitados, conservando buenas eficiencias en la remoción de materia orgánica.

En adición a esto, la interacción entre el sustrato y el microorganismo se favorece debido a la turbulencia que provocan las burbujas de gas que ascienden hacia la superficie y al flujo ascendente del agua que atraviesa la cama. Este lecho de lodos funge también como un filtro en el sentido mismo de la palabra; en él queda retenido material particulado que podrá ser degradado en el lecho. Con un reactor anaerobio tipo UASB alimentado con agua residual municipal típica se pueden lograr eficiencias de remoción en DQO del orden de 60 a 70% (DBO del 70 al 80%). El 2003 el Ing. Juan M. Castaño Rojas destaca en su tesis de grado magister: “El uso actual de los sistemas anaeróbicos en zonas rurales, dado que precisan de menor suministro de energía externa y, eventualmente, podrían obtenerse subproductos de utilidad como es el caso del biogás”. (Batero & Cruz, 2007)

Figura N°28. Filtro anaeróbico de flujo ascendente



Fuente: Diaz 1987 (Batero & Cruz, 2007)

- **Reactor de lecho expandido o fluidificado:** El reactor de lechos anaeróbicos fluidificados es en donde el medio de contacto es un material granular (normalmente arena). Su uso debe ser justificado ante la autoridad competente,

ya que requieren de un mayor grado de mecanización (Moscoso, 2011).

Los reactores de alta tasa de tercera generación son aquellos que operan con la biomasa expandida o fluidificada. El nombre dado internacionalmente para este tipo de reactores es el de EGSB por sus siglas en inglés (expanded granular sludge blanket, figura N°29) y de lecho fluidificado, según sea el caso. Estos reactores están orientados básicamente al tratamiento de aguas residuales industriales bajo condiciones de operación muy controladas, por lo que su aplicación en el tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales no es aún recomendable. El reactor EGSB es totalmente dependiente de la adecuada granulación del lodo, ya que de lo contrario, el lodo saldría con el efluente. El lecho fluidificado se basa en material de empaque de pequeño tamaño (no mayor a un milímetro de diámetro por lo general) donde se adhiere la biopelícula anaerobia. En tales casos, la energía de bombeo necesaria para fluidizar el lecho puede ser importante. Un agua residual doméstica o municipal no favorece la granulación debido a la baja concentración de la materia orgánica; lo que se llega a formar, en dado caso, es un lodo floculento, adecuado para reactores UASB pero no para este tipo de sistema.

Independientemente de que estos sistemas de tercera generación tienen mayores requerimientos de operación y control, es de resaltar la alta eficiencia que alcanzan y la elevada carga orgánica que admiten. En efecto, el estar expandido o fluidificado el lodo dentro del sistema, se logran excelentes condiciones de mezclado lo que favorece la interacción sustrato microorganismo, esto manteniendo un alto tiempo de retención de lodos, muy superior al de retención hidráulica.

Figura N°29. Reactor de lecho expandido (EGSB)



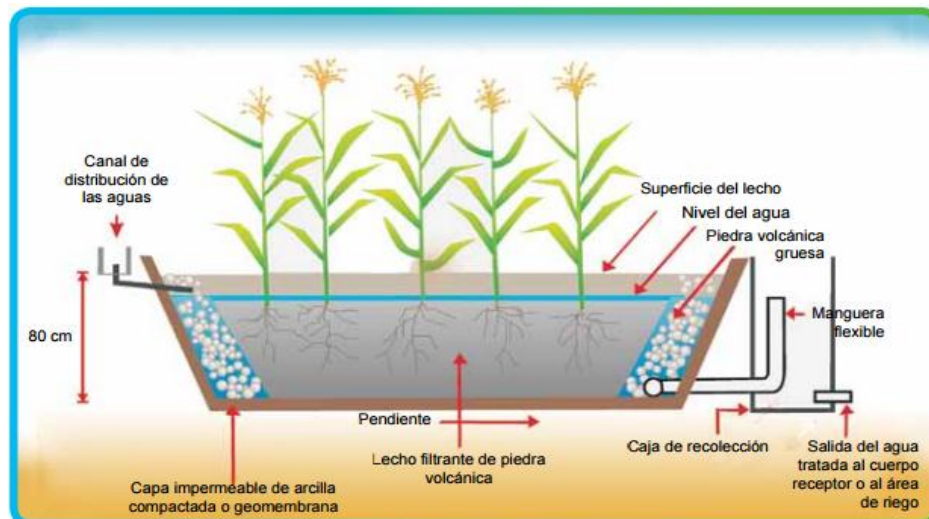
Fuente: (UNAM, 2013)

2.2.5. Sistema natural tipo Wetland

Un humedal artificial conocido como “wetland” es un filtro de materiales granulares (grava por lo común) en donde se desarrolla un sistema de raíces de plantas, que generalmente pertenecen al género *Phragmites* y *Thypha*, conocidos comúnmente como carrizos, tules o totora en los países andinos, “a través de los cuales circulan las aguas residuales pretratadas, mediante un flujo horizontal o vertical, tal como se aprecia en el diagrama de la figura N°30” (MINAM, 2009.). Este arreglo proporciona una matriz de grava y raíces a través de la cual fluye el agua a tratar, y donde se llevan a cabo diversos procesos de tratamiento, semejando el medio natural conocido como rizósfera. Estas plantas aportan el oxígeno atmosférico captado por las hojas a las raíces y rizomas, por lo que el agua residual es trata aeróbicamente por los microorganismos presentes en la

rizósfera, y anaeróticamente por aquellos organismos que se encuentran entre los intersticios del medio granular circundante.

Figura N°30: Estructura de un humedal artificial horizontal



Fuente: Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.).

Para garantizar una efectiva remoción de los sólidos suspendidos se requieren procesos previos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. Estos pueden consistir en una rejilla, seguida de un desarenador y unidades de sedimentación (tanque Imhoff, un tanque séptico, u otras alternativas, como una cámara de reposo aprovechada para hacer compost con la materia orgánica).

Figura N°31: Humedal artificial de flujo vertical Colegio Christoferus, Chorrillos, Lima



Fuente: Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.).

El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante horizontal es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacterias aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica. Las aguas provenientes del tanque Imhoff, cámara séptica u otro, se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del lecho filtrante y se infiltran hacia la zona de recolección del agua. Cabe señalar que el paso del agua al filtro debe interrumpirse cada vez que sea necesario, de modo que los intervalos de alimentación permitan que toda el agua se haya infiltrado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire. Se debe considerar la construcción de dos humedales artificiales en paralelo, para permitir el mantenimiento del sistema.

Tabla N°9. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.

HUMEDALES ARTIFICIALES	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El sistema es muy estable en la operación y eficiente para la remoción de materia orgánica y nutrientes, condiciones que permiten disponer el efluente en ambientes naturales.	Requieren de un proceso adicional de desinfección para eliminar totalmente los organismos patógenos, sobre todo cuando se trata sólo aguas residuales.
Pueden operar sin ningún consumo energético, al carecer de equipos electromecánicos.	Puede colmatarse en poco tiempo, cuando no cuentan con sistemas de pretratamiento adecuados.
La operación es sencilla y con bajo costo.	En zonas de altitud elevada puede ocurrir que las plantas empleadas no se adapten. Por ello, habría que realizar estudios <i>in situ</i> con especies locales.
Perfecta integración a el medio rural y urbano, como parques y jardines.	Un débil compromiso, así como la desorganización de los usuarios, hacen que estos proyectos no tengan éxito.
Generalmente no producen olores desagradables.	
Recomendaciones	
Este sistema de tratamiento no es estándar. Se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana.	
Es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas.	
Si se desea implementar esta tecnología en la sierra del país, se deberá considerar especies vegetales locales y analizar la calidad del efluente para determinar su aprovechamiento.	

Fuente: Manuela para municipios ecoeficientes. (MINAM, 2009.)

Las plantas que se sembrarán pueden ser seleccionadas según el tipo de contaminante que se desea reducir en las aguas

residuales. Está comprobada la efectividad del papiro, bambú, platanillo, carrizo u otras plantas de la zona, que se adaptan a condiciones de humedad.

“Las mayores ventajas sobre otros procesos son su bajo costo de operación, su fácil instalación y mantenimiento, además de producir un efluente de buena calidad (DBO5 promedio de 25 mg / l)”. (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.) En la tabla N°9 vemos un cuadro resumen presentado en el Manual para municipios ecoeficientes (MINAM, 2009.).

2.2.6. Sistema para el tratamiento de lodo

En el libro “Alternativas de tratamiento y reúso de lodos residuales”, los autores Moeller, Mijaylova, Ramirez, López, definen el lodo residual como el residuo sólido, semisólido o líquido que se genera por el tratamiento de las aguas residuales. Su composición depende principalmente de las características del agua residual afluyente y del proceso de tratamiento utilizado en la planta que lo genera. Uno de los problemas para el uso y manejo de los lodos es su alto contenido de patógenos, por lo que se requiere su estabilización (reducción de microorganismos patógenos) (Hammeken & Romero, 2005).

La variable económica de una planta de tratamiento de aguas está influenciada, con un peso específico alto, por el tratamiento y disposición de lodo y subproductos en general. “En el caso de las plantas de aguas residuales municipales con lodos activados convencionales, en general, el costo de inversión se distribuye en un 60% para el tren de agua y el 40% para el tren de tratamiento del lodo” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.). En todos los casos, se debe considerar que el manejo del lodo puede tener un alto impacto en el costo de operación, en particular cuando se tiene que transportar el lodo a lugares lejanos para su disposición final.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales normalmente empleados en la industria o en el tratamiento de aguas residuales de carácter doméstico o municipal, producen lodo, producto de las separaciones sólido-líquido (sedimentación, floculación etc.) o de la coagulación química y del tratamiento biológico. Estos lodos deben ser sometidos a una serie de tratamientos antes de su disposición final, ya que constituyen un concentrado de la materia orgánica removida del agua. El objeto de estos tratamientos es su estabilización o degradación, seguidas normalmente por una deshidratación para remover agua y así transportarlos hacia el sitio de disposición final o eventualmente para algún aprovechamiento. Por lo tanto, la planta de tratamiento de aguas residuales debe considerar el tren de proceso para la corriente líquida y el complementario para tratar los residuos sólidos y los lodos resultantes. En ciertas ocasiones, particularmente en instalaciones dentro de zona urbana, hay que agregar un tercer proceso, el de control de olores.

El tratamiento de lodo inicia con la eliminación de sólidos gruesos, con un posterior mezclado de los distintos lodos generados en una planta de tratamiento, con el objeto de lograr homogeneidad. Posteriormente el lodo se espesa hasta alcanzar una concentración de 30 a 40 g/l con el objeto de facilitar su tratamiento y manipulación.

El proceso de estabilización de lodo busca reducir los organismos patógenos, eliminar malos olores e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción del lodo. Puede darse por vía química (estabilización con cal) o biológica (digestión anaerobia o aerobia y composteo).

Si se habla de una estabilización del lodo, es decir, crear condiciones ambientales (pH y temperatura) dentro del mismo para evitar la proliferación y actividad microbiana, se habla de los

procesos de tratamiento con cal y tratamiento térmico. Este tipo de estabilización no implica procesos de degradación microbiana, por lo que la materia orgánica no es removida. Por su parte, la estabilización por vía biológica se logra mediante la reducción por conversión microbiana de la materia orgánica biodegradable presente en los lodos, lo que reduce su potencial putrescible y la masa del residuo. Esto último no se aplica en el caso del composteo, puesto que este proceso requiere de la adición de material celulósico para darle textura y facilidad en el manejo a la masa en tratamiento, lo que aumenta su peso y volumen. “A la digestión le sigue un proceso de deshidratación de lodo hasta alcanzar un 75 a 80 % de humedad aproximadamente. En esta etapa generalmente se usan filtros prensa, lechos de secado, centrífugas, filtros banda etc. dependiendo de la cantidad de lodo a tratar” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

El uso del lodo tratado ha estado orientado por décadas al mejoramiento de suelos. En estos casos el lodo actúa como acondicionador aportando nutrientes, incrementando la retención de agua y mejorando el suelo para la agricultura (sirve como un sustituto parcial de los fertilizantes que elevan el costo de la producción agrícola). En este rubro hay que tomar en cuenta también el contenido de patógenos, el de metales y compuestos orgánicos que pudieran transformar el lodo en un residuo peligroso. Para ello, en varios países se busca caracterizar un biosólido susceptible de aprovechamiento en varios usos, según la calidad alcanzada en su producción. Un caso especial de uso de lodo con valor económico alto se encuentra en el uso del lodo de purga de los reactores anaerobios tipo UASB que tratan aguas residuales industriales, ya que es un lodo granular activo muy demandado para la inoculación de otros reactores de este tipo.

En Perú, el diseño de instalaciones para el tratamiento de lodos estará basado en un cálculo previo de la producción de lodos en los procesos del tratamiento de las aguas residuales (Moscoso, 2011). Para el diseño se tendrá en cuenta las recomendaciones de la Norma S.090 del RNE (MVCS, 2006). El tratamiento de lodos se puede lograr a través de los siguientes procesos:

- **Digestión anaeróbica:** Permite la estabilización, la reducción del volumen y la inactivación de organismos patógenos. Existen las alternativas de digestión en dos etapas con recuperación de gas, digestión abierta sin recuperación de gas.
- **Lagunas de lodos:** Pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos ya digeridos.
- **Aplicación de lodos sobre el terreno:** Los lodos pueden acondicionar suelos, siempre que se haya removido por lo menos el 55% de los sólidos volátiles suspendidos.
- **Remoción de lodos de las lagunas de estabilización:** En la estación seca se realiza el drenaje de las lagunas hasta alcanzar un nivel que permita la exposición al ambiente del lodo sedimentado en el fondo. El lodo seco puede ser removido con equipo mecánico y almacenado en pilas de 2 m por 6 meses cuando proviene de lagunas primarias
- **Lecho de secado:** es el método más simple y económico para deshidratar los lodos estabilizados. El dimensionamiento estará en función de la masa y volumen de los lodos estabilizados, adoptando una profundidad de aplicación de 20 a 40 cm que se realizará entre 4 y 6 horas. El periodo de secado será entre 3 y 4 semanas en climas cálidos y entre 4 y 8 semanas en climas fríos.

2.2.7. Elección del tratamiento de aguas residuales

La elección de una tecnología o sistema de tratamiento de aguas residuales debe considerar aspectos técnicos, económicos,

ambientales y hasta sociales, muchas veces en un contexto de mercadotecnia no totalmente veraz, esto hace que se evalúen varios aspectos.

Las consideraciones importantes a tomar en cuenta para la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

2.2.7.1. Diversidad, uso y disposición del agua residual

2.2.1. Característica del agua residual

2.2.7.2. Oferta tecnológica

“Las tecnologías existentes desarrollan avances con relativa lentitud; aparentemente la diversidad tecnológica de tratamiento del agua residual pareciera ser muy amplia, sin embargo no es así. En función del proyecto que se trate y si se restringe al tratamiento de aguas residuales de origen municipal, se observa que el uso más frecuente de tecnologías y su integración en trenes de tratamiento se reduce a menos de ocho”. (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.) En el mercado actual del tratamiento de aguas residuales existe una oferta tecnológica amplia amparada bajo el marco de distintas marcas comerciales. Sin embargo, las tecnologías dentro de un mismo tipo presentan ligeras variantes, mucha veces solo como estrategia de mercadotecnia. Al conocer el tipo de tecnología y al saber su integración dentro de un tren de tratamiento específico de aguas residuales, se sabrá las eficacias de tratamiento del agua residual y requerimientos en general, independientemente de lo que alguna empresa pueda asegurar en su proceso de venta.

El 2003 en el “Seminario Internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales”, el autor Noyola Adalberto asegura que desafortunadamente hay en el mercado ofertas que pueden calificarse como fraudulentas, ya que ofrecen niveles de tratamiento imposibles técnica y económicamente, siendo la detección de ello unos de los principales retos que tiene el responsable de la toma de decisiones. (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.)

2.2.7.3. Costos

“La elaboración de proyectos implica estimar el costo del tratamiento del agua residual, así como los montos de inversión. Generalmente se recurre a información básica para realizar los estudios de gran visión y de previabilidad que permitan generar los resultados necesarios para la toma de decisiones, tanto para realizar estudios de mayor profundidad, como para seleccionar la mejor opción de tratamiento. Contar con costos índice coadyuva a agilizar la estimación de resultados de los estudios financieros y económicos, necesarios para seleccionar la mejor opción y para orientar a las instituciones financieras nacionales y/o internacionales en la estimación de sus presupuestos para este tipo de apoyo”. (Mantilla, 2002)

El costo de inversión inicial es considerado como uno de los elementos más importantes para seleccionar un proceso; sin embargo, siempre debe estar íntimamente relacionado con los costos de operación y mantenimiento, en un horizonte de largo plazo correspondiente con la vida útil de la planta de tratamiento.

El proceso que, cumpliendo con una calidad de agua exigida, posea el más bajo costo de inversión, pero sobre todo aquel que contenga el más bajo costo de operación y mantenimiento será favorecido; pues se ha visto que este rubro es el aspecto limitante más importante para obtener continuidad en el tratamiento del agua

En el tratamiento de las aguas residuales domésticas, cabe la posibilidad de que sea más fácil obtener recursos económicos para la inversión en una planta de tratamiento en comparación con los relacionados a la operación y mantenimiento de la misma, más aún si se considera que este tipo de infraestructura se proyecta con una vida útil de 20 años o más. Este aspecto es clave para que la inversión perdure en el tiempo, se mantenga operando y haga la función para lo que fue diseñada.

“En América Latina son muchos los ejemplos de plantas de tratamiento que están abandonadas o trabajando en condiciones precarias. El hecho de que los periodos de la administración municipal en varios países sean relativamente cortos hace que los sistemas de agua y saneamiento enfrenten la periódica pérdida de conocimiento y experiencia, además de repetir la negociación de sus presupuestos anuales. Tal situación se ve agravada por la frecuente ausencia de planeación a mediano y largo plazo en el ámbito de los gobiernos municipales” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

En este mismo sentido, no solamente es necesario prever los recursos económicos para la operación y el mantenimiento de las plantas de tratamiento sino también la existencia de repuestos o refacciones de los equipos y la disponibilidad de apoyo técnico para dar mantenimiento

preventivo o correctivo a sus equipos. Ello, evidentemente, está relacionado y depende del tipo de tecnología y equipamiento que se seleccione.

2.2.7.4. Remoción

- Sólidos suspendidos, sedimentables y flotantes
- Materia orgánica biodegradable (sistemas aerobios, anaerobios y acoplados)
- Nutrientes
- Patógenos

2.2.7.5. Tratamiento de lodos

2.2.6 Sistema para el tratamiento de lodo

2.2.7.6. Olores y gases de efecto invernadero

Las plantas de tratamiento si no son adecuadamente conceptualizadas, diseñadas, mantenidas y operadas pueden convertirse en elementos con alto impacto ambiental. Los puntos en una planta de tratamiento relacionados con los impactos ambientales se refieren a la generación y disposición de lodos, a la descarga y/o uso de aguas tratadas no con la calidad adecuada, al ruido provocado por la operación equipo y a la emisión de gases a la atmósfera. Este último factor puede ser particularmente relevante ya que es detectado de inmediato por la población circundante a través de la generación de malos olores (ver Figura 14). Las emisiones gaseosas de los sistemas de tratamiento también pueden contribuir al cambio climático mediante la liberación de

gases de efecto invernadero (GEI), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Cuando estos gases incrementan su concentración debido a las actividades humanas, se presenta el efecto invernadero, que resulta en un incremento de la temperatura ambiente y da resultado al fenómeno actual conocido como cambio climático. Los gases de efecto invernadero incluyen CO₂, CH₄, N₂O y gases fluorados.

2.2.7.7. Factores del ambiente

Los procesos biológicos se afectan en forma considerable por la temperatura, debido a que todas las velocidades de reacción enzimáticas dependen de la temperatura dentro de ciertos intervalos. A temperaturas bajas, la actividad se reduce y por lo contrario, a temperaturas altas la actividad se incrementa, manteniendo temperaturas menores a los 40°C. “Para cada proceso existen intervalos de temperatura que se deben respetar para una operación eficiente, del mismo modo que existen límites máximos y mínimos permisibles. Es de señalar la excepcionalidad de los procesos anaerobios termofílicos, que tienen temperaturas óptimas entre los 50 y 55°C” (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

2.2.7.8. Área

El área disponible de terreno cobra importancia en lugares donde el terreno es caro, escaso y/o topográficamente

accidentado. Los procesos más compactos requieren menos área. Un sistema de tratamiento con bajos requerimientos de operación y mantenimiento (procesos extensivos) requerirá mayor área que a uno que demande mayores recursos para su operación y mantenimiento (procesos compactos).

2.2.7.9. Personal de trabajo

Se deben seleccionar aquellos procesos que requieran el mínimo de mano de obra para su operación y mantenimiento, sin que éstos sean del tipo altamente automatizado debido a su elevado costo y en últimas circunstancias elevado y especializado mantenimiento, especialmente para plantas pequeñas y medianas. Para las plantas grandes se considera la automatización, donde generalmente se involucran procesos compactos y altamente mecanizados.

Se debe favorecer aquellas tecnologías que no demanden una alta especialización para su arranque y operación y en el caso de requerirse, asegurar su permanencia en el empleo de este personal clave. Debe evitarse la rotación de personal operador ya que la experiencia que un trabajador puede lograr con el tiempo es muy valiosa para la planta de tratamiento en particular y debe ser conservada (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

2.2.7.10. Aspecto social

Involucra a todos los interesados (trabajadores, comunidad local, proveedores, gobierno, etc.) aumentando el sentido de responsabilidad entre los beneficiarios para

pagar las tarifas de aguas residuales. Se necesita una educación comunitaria así como la participación pública.

2.2.8. Descripción de la ciudad de Huancayo

Huancayo es la ciudad más importante de la sierra central del Perú y está situada al sur del Valle del Mantaro. Es el distrito capital del departamento de Junín y de la provincia de Huancayo. La zona fue habitada por huancas, fueron anexados al Imperio incaico, convirtiéndose en un lugar con una convivencia de convulsión y represión por parte de los incas (Wikipedia, 2016).

2.2.8.1. Toponimia

La ciudad núcleo de Huancayo está definida por los distritos metropolitanos de Huancayo, El Tambo y Chilca. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática es la sexta ciudad más poblada del Perú y albergaba en el año 2007 una población de 336.349 habitantes. El Plan de Desarrollo Urbano 2006 de la Municipalidad Provincial de Huancayo reconoce que el área de aglomeración urbana morfológicamente se ha extendido hasta los distritos de Huancán, Pilcomayo, San Agustín y Sapallanga.

2.2.8.2. Ubicación

Está situada sobre los 3271 msnm en pleno Valle del Mantaro, en la margen izquierda del río del mismo nombre, lo que confirma a Huancayo como una de las ciudades más altas del Perú y la décima en el mundo. La parte norte de la ciudad se extiende por el distrito del San Agustín de Cajas y San Jerónimo. La parte central de la ciudad se extiende por los distritos de Huancayo y El

Tambo. Hacia el este y oeste se encuentran los distritos de Pilcomayo y Palian. Finalmente, hacia el sur, se ubican los distritos de Chilca, Huancan y Sapallanga. El centro de la ciudad no se encuentra cerca al río Mantaro, pero sí se encuentra cruzado por el riachuelo "Shullcas", que sirve de límite natural entre los distritos de Huancayo y El Tambo.

2.2.8.3. Clima

Huancayo tiene un clima templado pero inestable durante todo el año, variando entre 29° en los días más cálidos y -5° grados centígrados en las noches más frías. La presencia de la Cordillera de los Andes y la altitud de la ciudad (3250 msnm) causan grandes variaciones en el clima. La gran variación de las temperaturas hace que en la zona sólo se distingan dos estaciones, la temporada de lluvias desde octubre hasta abril (correspondiente a gran parte de la primavera y el verano) y la temporada seca de mayo a septiembre. Las temperaturas más bajas se registran en las madrugadas de los días de los meses de junio a agosto.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Aguas Residuales Residenciales: Agua procedente esencialmente del agua suministrada a las residencias después de ser contaminada por diversos usos a que ha sido sometida.

2.3.2. Ciudad: Conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica a actividades no agrícolas. Lo urbano, en oposición a lo rural.

- 2.3.3. Costo de inversión: Valor monetario del acto mediante el cual se usan ciertos bienes con el ánimo de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo. La inversión se refiere al empleo de un capital en algún tipo de actividad con el objetivo de incrementarlo. Consiste en renunciar a un consumo actual y cierto, a cambio de obtener unos beneficios futuros y distribuidos en el tiempo.
- 2.3.4. Costo de operación: Valor monetario del acto mediante el cual se mantiene operativo un sistema.
- 2.3.5. Mitigación de olores y ruidos: Atenuación o reducción de la mezcla compleja de gases, vapores y polvo.
- 2.3.6. Planta de tratamiento: Conjunto de estructuras depuradoras de aguas residuales que tratan agua residual procedente del consumo ciudadano, así como de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanizadas, además del agua procedente de pequeñas ciudades, mediante procesos y tratamientos estandarizados y convencionales. También llamada estación depuradora de aguas residuales (EDAR).
- 2.3.7. Propuesta: Acción de proponer proyecto o idea a una persona para que lo acepte y de su conformidad para realizarlo.
- 2.3.8. Sistemas de tratamiento: Conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuyo fin es la eliminar o reducir la contaminación o características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad es obtener aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

2.3.9. Tratamiento: Es el procedimiento aplicado a una o más de las variables independientes que generará o no un cambio en los valores de la(s) variables dependientes.

2.3.10. Urbanización: Núcleo residencial formado por viviendas de características semejantes y dotado de instalaciones y servicios propios, que suele encontrarse en las afueras de la ciudad.

2.3.11. Urbanización Sostenible: Conjunto de viviendas situadas junto a otras poblaciones que satisfacen las necesidades de las generaciones actuales, pero sin afectar la capacidad de las futuras, y en términos operacionales, promueven el progreso económico y social respetando los ecosistemas naturales y la calidad del medio ambiente.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Se encontrarán varias propuestas adecuadas, dentro de las cuales se elegirá la óptima para tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

2.4.2. Hipótesis específicas

A. La situación actual del tratamiento de las aguas residuales residenciales es inadecuada en la ciudad de Huancayo 2015.

B. Un estudio de caso sustentará la viabilidad de la propuesta óptima para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

CAPITULO III.
MARCO METODOLOGICO

3.1. Variables

3.1.1. Identificación y clasificación de variables

VARIABLES	SEGÚN SU FUNCION	SEGÚN SU NATURALEZA	SEGÚN SU NIVEL DE MEDICION
Propuesta óptima	Independiente	Cualitativo	Nominal Dicotomica
Situación actual	Independiente	Cualitativo	Nominal Dicotomica
Viabilidad	Independiente	Cualitativo	Nominal Dicotomica
Tratamiento de aguas residuales residenciales en Huancayo	Dependiente	Cuantitativo	Ordinal

3.2. Diseño Metodológico

En el presente trabajo de investigación se utilizará el MÉTODO CIENTÍFICO como método general. En la actualidad según (Ezequiel, 2000):

“El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Asimismo, el significado de la palabra ‘método’ ha variado. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos”.

El tipo de investigación por el que está guiando esta tesis es no experimental, de corte transeccional, la cual se define como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables

independientes. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. El corte de sección transeccional, describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado.

3.3. Tipo de Estudio

La investigación es básica o pura, ya que persigue una utilización inmediata para los conocimientos obtenidos, sino que busca acrecentar los acontecimientos teóricos para el progreso de una ciencia, sin interesarse directamente en sus posibles aplicaciones o consecuencia prácticas

3.4. Nivel de investigación

La investigación es descriptiva ya que pretenden medir información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables de la investigación, es decir, describe las propiedades físicas, características y perfiles de nuestro tema a investigar.

3.5. Diseño del estudio

Se trabajará con una metodología exhaustiva y ordenada, la cual consistirá en:

- a) Recopilación de datos e información. En principio se recopiló y analizó informaciones de fuentes secundarias, tales como publicaciones oficiales e investigaciones, se incluyo búsqueda literaria relacionada a la ingeniería de tratamientos de aguas residuales y ejemplos relacionados al manejo de las mismas.
- b) Entrevistas no estructuradas a especialistas en el tema. En base a estas entrevistas se planteara inicialmente un esquema de investigación. Se realizarán entrevistas donde el tema central será

la situación actual y futura del saneamiento nacional, además de una apreciación con respecto al futuro según la tendencia mundial.

- c) Trabajo en campo. Teniendo una idea más clara del tema se efectuaron visitas de campo donde se busca la información empírica que demostrara los hechos y realidades que ocurren actualmente en el Perú, en la ciudad de Huancayo y alrededores. Se realizarán viajes a zonas de la costa, sierra, y selva central para observar qué métodos se utilizan en el tratamiento de aguas residuales. Los viajes se realizarán en importantes zonas urbanas de la sierra, así como algunas visitas a zonas rurales para verificar datos estadísticos sobre el saneamiento nacional y contrastar información.
- d) Compilación de la información encontrada. Los datos encontrados requerían de un afianzamiento conceptual, el próximo paso se orientó al estudio amplio de todos los procesos y factores de influencia que involucran el tratamiento de aguas residuales, incluyendo las recomendaciones de especialistas y sus puntos de vista, comparaciones que servirán para obtener una idea más clara de los alcances y el objetivo.
- e) Análisis crítico, técnico y financiero para generar conceptos fundamentados y realistas de la sostenibilidad de urbanizaciones. Gracias a toda la información analizada, se tendrá un concepto sobre la situación actual. Se describirá todos los puntos negativos del saneamiento nacional y local, a la vez que se contrastarán problemas del saneamiento actual con información de otros proyectos exitosos. Se planteó un análisis técnico y económico detallado que demuestre lo solvente que puede ser mantener una planta de tratamiento.

f) Se proyectara una alternativa de solución óptima con herramientas del sector inmobiliario para la ciudad de Huancayo. Se analiza la construcción de urbanizaciones con saneamiento sostenible, que satisfacen independientemente las necesidades del tratamiento de aguas residuales, sin tener problemas sociales, económicos ni ambientales. Este análisis tiene como principal actor al ciudadano huancaíno, al cual se le mostrará una solución acorde a su economía, con una serie de beneficios directos e indirectos que compensarán su cobro tarifario.

3.6. Población y muestra

La aplicación del trabajo de investigación se realizará con una población de 15 tecnologías y una muestra total de 8 tecnologías.

3.7. Operacionalización de variables

Hipotesis	Variables	Conceptos	Indicadores	Tecnicas	Instrumentos
Se encontraran varias propuestas adecuadas, dentro de las cuales se elegirá la óptima para tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Propuesta óptima	Propuesta sumamente buena, por lo cual resulta inmejorable	Costos, diseño y construcción, area de demanda, eficiencia, entorno, operación	Analisis documental, Observacion estructurada	Guia de revision documental, Esquema/ algoritmo, matriz de decision
	Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo fisico - quimico o biologico cuya finalidad es la reduccion de la contaminacion del agua.	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental, registro de analisis documental
A. La situación actual del tratamiento de las aguas residuales residenciales es inadecuada en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Situacion actual	Diagnostico situacional del tratamiento de aguas residuales residenciales	Cobertura, tec. aplicadas, diseño y construcción, costos, operación, marco legal	Analisis documental, Observacion estructurada	Guia y registro de revision documental, Guia de observacion, registro de observacion
	Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo fisico - quimico o biologico cuya finalidad es la reduccion de la contaminacion del agua.	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental, registro de analisis documental
B. Un estudio de caso sustentara la viabilidad de la propuesta optima elegida para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Viabilidad	Probabilidades de llevarse a cabo o de concretarse gracias a sus circunstancias o características	Area, personal, costos, poblacion, Marco legal	Analisis viabilidad, Analisis Documental	Estudio de caso, Esquema/algoritmo, matriz de decision
	Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo fisico - quimico o biologico cuya finalidad es la reduccion de la contaminacion del agua.	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental, registro de analisis documental

3.8. Técnicas de recolección de datos

En primer lugar se tendrá en cuenta el análisis documental, donde se considerará las fichas bibliográficas, de resumen, de párrafo; que nos servirán para estructurar el marco teórico referencial y conceptual. Asimismo se tendrá presente las no documentadas como el registro de datos y la ficha de observación propiamente dicha. En relación a la naturaleza del trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

TÉCNICA	INSTRUMENTO	DATOS QUE SE OBSERVARÁN
Observación	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación. 	Nos permitirán analizar y evaluar una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo. 2015
Análisis de documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de Observación. • Registro de análisis documental. • Guía de revisión documental. 	Con la aplicación de estos instrumentos nos permitirán: evaluar y describir la situación real y actual del tratamiento de aguas residuales residenciales y su impacto ambiental en la ciudad de Huancayo. Asimismo evaluar e identificar las causas para recomendar estrategias para el diseño e implementación de futuros sistemas de tratamientos de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo.
Análisis de viabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de caso • Esquema/algoritmo • Matriz de decisión 	Nos permitirá modelar, y realizar un análisis para determinar si el proyecto es viable y sostenible.

3.9. Validez y confiabilidad de los instrumentos empleados

3.9.1. Confiabilidad de los instrumentos

Cotejo entre observadores. Se aplicó el mismo instrumento en situaciones similares comprobando la correlación de aspectos coincidentes observados. Se utilizaron instrumentos usados anteriormente para la selección de plantas de tratamiento.

3.9.2. Validez de los instrumentos

Validez de contenido. El instrumento ha sido sometido a la valoración de expertos (Ing. Sanitario, Ing. Civil, Ing. Ambiental) para evaluar las variables a medir.

3.10. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

Los resultados a obtener del análisis y comparación de datos mediante los instrumentos serán programados y expuestos en cuadros descriptivos y aplicativos elaborados en Excel, en función a ello se proporcionará el uso de la propuesta más adecuada. Finalmente se realizara un estudio caso donde se hará un análisis técnico y económico detallado que demuestre lo solvente que puede ser mantener la propuesta, los resultados serán programados y expuestos en cuadros y gráficos elaborados en Excel.

CAPITULO IV.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

4.1. Reutilización del agua en el Perú y Huancayo

Durante la investigación se encontraron problemas específicos del tratamiento de aguas residuales en Perú y Huancayo, buscando soluciones en el caso de una urbanización, condominio, universidad o colegio se tiene la necesidad de embellecer el paisaje urbanístico con áreas verdes. Las aguas residuales tratadas serían la solución para el riego masivo de zonas verdes y usadas para elementos decorativos como piletas, caídas de agua, etc. La reutilización de aguas en riegos tiene una doble acción, por un lado constituye un recurso complementario del agua y por otro se convierte el suelo en un reactor que contribuye a la depuración de las aguas.

La utilización de las aguas residuales para el riego de cultivos de plantas, es saludable y aceptable, siempre y cuando se le dé el tratamiento adecuado antes de ser utilizado. La reutilización de las aguas residuales debe considerar aspectos que trataremos en el transcurso de la investigación.

Grimaldos y Rayón aseguran que la agricultura podría ser un uso muy importante que se puede dar al agua residual tratada recordando que la agricultura es el mayor consumidor de agua, con un 70% del total, y se espera que la producción agrícola mundial crezca 55% en el año 2030 y 80% en el año 2050 (Arce, 2013). Se podría dar otros usos importantes al agua residual tratada en el Perú y la Sierra como son la recarga de acuíferos y la potabilización para zonas urbanas sin recursos de agua, como sería el caso de algunos lugares en el departamento de Junín.

Según el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX) en el 2005, en zonas del mundo como Singapur, se reutiliza el agua residual para proporcionar agua potable a los habitantes. A pesar de ser una idea socialmente repudiada, es una herramienta importantísima para llevar alternativas de solución a muchas zonas áridas del mundo (Arce, 2013). En zonas donde se tiene limitado acceso al agua potable, como Chilca o el Tambo debido a problemas como filtraciones en el recorrido de las tuberías o imperfecciones en el sistema que datan de hace 30 años, no escapa la idea de colocar una planta de tratamiento de aguas residuales con proceso de potabilización. Así las personas podrían sobrevivir con sus recursos y volver a estos distritos en distritos con saneamiento sostenible.

Como se puede ver hay muchas formas de reutilizar el agua residual, siendo en la actualidad del Perú, Lima y Callao las que esbozarán el panorama de nuestra realidad con respecto al reúso del agua residual. Se puede ver que según un estudio realizado por Moscoso y Alfaro en el 2008, bajo 37 experiencias estudiadas en Lima Metropolitana y el Callao, solo 34 experiencias reutilizan el agua residual con algún tratamiento, mientras que los tres casos restantes lo hacen sin tratar, representando el 48% del agua total regada con aguas residuales en Lima (Arce, 2013).

Podemos decir entonces que es posible reutilizar el agua residual bajo el tratamiento adecuado para cada nivel de uso que se requiera. Es decir, no se puede evaluar el mismo nivel de tratamiento de riego de humedal, parque, jardín o agricultura, esto debido a que cada uso tiene diferente contacto con los seres. En el caso de la alimentación y el consumo de agua potable, los niveles de calidad del agua son muy delicados ya que de ello depende la salud de las personas.

4.2. Marco legal en el Perú

El reúso de aguas residuales deberá garantizar el nivel adecuado de tratamiento en función al uso específico, a fin de no generar riesgos en la salud de la población que tenga contacto con las zonas irrigadas con el agua residual tratada. La composición específica del vertido, los cuerpos receptores, la disponibilidad de terreno en las inmediaciones de la empresa, la recuperación y reutilización de estas aguas y su posible utilización para riego están en función de la normatividad vigente sobre descargas, para determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento se debe plantear la calidad del tipo del efluente que se requiere. En el Perú la norma fundamental para la gestión de los recursos hídricos es la ley de recursos hídricos N°29338.

En todos estos años en el Perú dado la gran producción de contaminación en sus recursos hídricos, se trató de formalizar y regular los vertimientos en algunos receptores es por eso que el gobierno comenzó a trabajar la gestión integral de los recursos hídricos y del ambiente, generando como resultado que en la actualidad, ya se cuenta con una serie de normas en el marco legal que buscan mejorar la calidad de los efluentes hídricos y ambientales. Es importante señalar que el estado para aplicar el marco legal crea dos tipos de autoridad: La del agua y la sanitaria. Las principales normas vigentes referidas a la construcción, operación y mantenimiento de las PTAR en el país se describen brevemente (ver ANEXO N° 2).

En cuanto a los principales roles de cada sector y/o autoridad involucrada en el tema de saneamiento y tratamiento de aguas residuales en el Perú, las funciones de cada uno son descritas (ver Anexo N°3). Cuando hablamos del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, podemos ver dos escenarios: El estándar que debe alcanzar para no perjudicar al uso del receptor y la

calidad del agua al salir de la PTAR. Estos valores de LMP, ECA y VMA se explicaran detalladamente más adelante (4.2.7 Parámetros y Valores de Calidad de las Aguas Residuales).

En Huancayo, con respecto al riego actual en los parques y áreas verdes se realiza con agua potable. El riego de áreas verdes públicas con agua potable está permitido por SEDAM dentro del Reglamento de prestación de servicios de saneamiento de Sedam Huancayo S.A. (Aprobado el 16 de Julio de 2010 por Superintendencia nacional de servicios de saneamiento). En el Artículo 32° de uso de agua potable para riego de parques y jardines se señala:

<p>Artículo 32° Uso de agua potable para riego de parques y jardines El riego de parques, jardines públicos u otros servicios de uso común, se realizará de preferencia, con aguas residuales tratadas para tal fin, de no haber otra alternativa de riego se efectuará con agua potable. El servicio se brindará bajo las siguientes condiciones: a) Que el área sea de servicio público b) El proyecto de instalaciones para el uso del servicio es aprobado por la empresa con indicación de la extensión del parque, berma o jardín. c) El riego se efectúe en horarios establecidos por SEDAM HUANCAYO S.A. indicando volumen y horas de riego. d) El municipio respectivo, se compromete al uso de elementos que permitan un riego racional. Los servicios serán facturados a la municipalidad correspondiente, o a quien los haya solicitado, según lo establecido por el Reglamento de la Ley General de los Servicios de Saneamiento. En caso SEDAM HUANCAYO S.A. modifique la continuidad y la calidad del servicio mediante interrupciones, restricciones o racionamiento, no se podrá hacer uso de los servicios de agua potable para esos fines, hasta que las causas de dicha modificación hayan cesado.</p>
--

Fuente: <http://www.sedamhuancayo.com.pe/web/phocadownloadw>

Al no brindarse otra opción para el riego, se realiza el riego con agua potable. Se desea proponer entonces la reutilización de las aguas residuales para el riego de áreas verdes y así lograr urbanizaciones sostenibles. Todas estas ideas son en realidad bosquejos para buscar soluciones ante una problemática mayor. A continuación se explicaran detalladamente algunos aspectos importantes del marco legal nacional.

4.2.1. Plan Nacional de Saneamiento

El Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015 viene a ser el marco de orientación para integrar y armonizar las acciones de

los diversos agentes que de una u otra forma intervienen en el desarrollo del sector saneamiento. El mismo que como objetivo respecto al tratamiento de aguas residuales tiene el de ampliar la cobertura, mejorar la calidad y sostenibilidad de los servicios. Para cumplir este objetivo el Plan Nacional de Saneamiento definió como meta el cubrir al 100% el tratamiento de aguas residuales vertidas al alcantarillado para el 2015.

4.2.2. Plan nacional de Acción Ambiental (PLANAA)

El plan nacional de acción ambiental Perú 2011-2021 contiene las metas prioritarias que el Perú debe lograr hasta el 2021. Respecto al tratamiento de aguas residuales establece que el 100% de las aguas domesticas urbanas son tratadas y el 50% son reusadas para el 2021; y que el 100% de los titulares que cuentan con autorizaciones de vertimientos cumplen los LMP aplicables. Los cuerpos receptores cumplen el ECA para agua para el 2021. El PLANNA 2011-2021 y el Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015 coinciden en alcanzar el 100% tratamiento de aguas residuales.

4.2.3. Plan nacional de Inversiones (PNI) del Sector Saneamiento

El plan nacional de Inversiones del sector saneamiento 2014-2021 cuantifica las inversiones necesarias para alcanzar la “cobertura universal de los servicios de agua potable y saneamiento (alcantarillado y tratamiento de aguas residuales) en los ámbitos urbano y rural” Plan Nacional de Inversiones del sector saneamiento 201-202, 2014 (MVCS, 2006).

4.2.4. Plan nacional ante el cambio climático (PLANCC)

El PLANCC tiene como objetivo principal construir las bases técnicas y científicas, así como las capacidades para explorar la

factibilidad de un desarrollo limpio o bajo en carbono e incorporar el enfoque de cambio climático en la planificación del desarrollo del país, además propone opciones para mitigar los efectos del cambio climático. Las opciones propuestas para el sector de los residuos que están explícitamente relacionadas con el tratamiento de aguas residuales domésticas son:

1. Captura y quema de gas metano en las lagunas de las PTAR.
2. Captura de gas metano y generación de energía en las lagunas de las PTAR. Se efectuará en las lagunas facultativas sobrecargadas y de gran caudal que operan en provincias.
3. Captura de gas metano y generación de energía en el tratamiento de lodos de las PTAR.

Esto quiere decir que el PLANCC tiene como estrategia fomentar las tecnologías anaerobias en el tratamiento de aguas residuales, así como la captura, quemado o uso del biogás generado.

4.2.5. Ley de recursos hídricos y su reglamento

En los capítulos de la Ley N° 29338 y su reglamento donde tratan sobre la regulación del vertimiento y reúso del tratamiento de aguas residuales algunos puntos importantes son (SUNASS, 2015):

- Para obtener la autorización de reúso de las aguas residuales tratadas, se deben cumplir los valores establecidos por el sector de la actividad a la que se destine el reúso o, en su defecto, las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

- Define al ANA como responsable del control de los vertimientos y reúso autorizados.
- Establece la obligación de instalar sistemas de medición del caudal del efluente en las PTAR.
- Define las condiciones y procedimientos para la autorización del vertimiento y reúso de las aguas residuales tratadas.
- Prohíbe el vertimiento o reúso del agua residual sin tratamiento.

4.2.6. Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento

El Reglamento de la Ley de los Residuos Sólidos dispone que todos los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales sean considerados como residuos peligrosos y deben ser depositados en rellenos de seguridad. Con relación a los RRSS separados en el tratamiento preliminar deben ser dispuestos también en rellenos de seguridad.

En conclusión no se ha considerado el potencial nutritivo del lodo de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Tampoco se han establecido criterios que permitan demostrar que el lodo de las PTAR no es peligroso si se le somete a determinados tratamientos. Tampoco existen criterios para el uso de lodos tratados.

4.2.7. Parámetros y Valores de Calidad de las Aguas Residuales

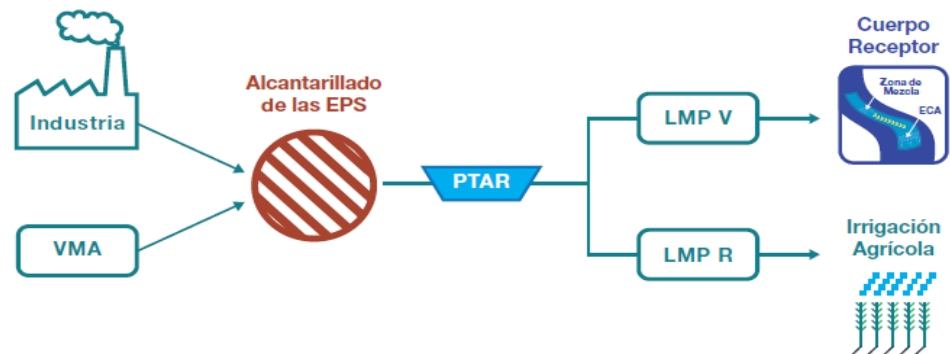
En el marco legal peruano se definen parámetros y valores relevantes para la construcción y operación de PTAR:

- Valores máximos admisibles (VMA).
- Límites máximos permisibles (LMP) para vertimientos a cuerpos de agua.

- Estándares de calidad de agua (ECA).
- Límites máximos permisibles para el reúso de agua tratada.

En la figura N°32 se aprecia que los VMA regulan las descargas industriales al alcantarillado público, en tanto que los LMP para vertimientos en un cuerpo de agua regulan la calidad del efluente de las PTAR y los ECA del agua regulan la calidad del agua en el cuerpo de agua luego de la zona de mezcla con el efluente de las PTAR.

Figura N°32. Exigencia de LMP de Vertimientos del efluente de PTAR. LMP para reúso del efluente, ECA y VMA



Fuente: (SUNASS, 2015)

Para el caso de vertimiento del efluente a un cuerpo de agua, el cumplimiento de los LMP en el efluente de una PTAR no reemplaza la necesidad del cumplimiento del ECA del agua después de la zona de mezcla y viceversa. En el caso del reúso, se deben aplicar los LMP correspondientes a la actividad en la que se hará el reúso. En la actualidad a falta de LMP específicos, se utilizan los valores recomendados en las guías de la Organización Mundial de la Salud.

Límites máximos permisibles (LMP)

Según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, el LMP es “la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias

o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente”. Los LMP definen la calidad del efluente de las PTAR cuando se vierte a un cuerpo natural de agua. Los LMP son obligatorios para todas las PTAR. Se debe reportar al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento el cumplimiento de los LMP y efectuar el monitoreo frecuente del afluente y efluente de la PTAR según el protocolo de monitoreo señalado en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA (MVCS, 2006).

Según el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM, la fiscalización del cumplimiento de los LMP está a cargo del MVCS. Sin embargo, el ente rector aún no cuenta con un reglamento de supervisión, fiscalización y sanción del cumplimiento de los LMP. En las tablas N°10 y N°11 se muestran los LMP vigentes, los parámetros y frecuencia del monitoreo de muestras de afluentes y efluentes de las PTAR.

Tabla N°10. LMP de efluentes para su vertimiento a un cuerpo de agua

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 Días (DBO5)	mg/L	100 1)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200 1)
PH		6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L 2)	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM. (SUNASS, 2015)

Tabla N°11. Parámetros y frecuencia del monitoreo de muestras de afluentes y efluentes de las PTAR

PARAMETROS		FRECUENCIA DEL MONITOREO SEGÚN EL CAUDAL DE OPERACIÓN PROMEDIO ANUAL			
AFLUENTE	EFLUENTE	< 10 L/S	> 10 A 100L/S	> 100 A 300 L/S	> 300L/S
ACEITES Y GRASAS		ANUAL	SEMESTRAL	TRIMESTRAL	MENSUAL
COLIFORMES TERMOTOLERANTES					
DBO5					
DQO					
PG					
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION					
TEMPERATURA					
CAUDAL(LECTURA HORARIA O MAS FRECUENTES)		1 POR SEMESTRE	1 POR TRIMESTRE	1 POR MES	DIARIA

Fuente: Resolución Ministerial N.° 273-2013-VIVIENDA (SUNASS, 2015)

Estándares de Calidad del Agua (ECA)

Los ECA del agua establecen el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente. Cuando se vierte el efluente de la PTAR al cuerpo receptor de agua, se origina una zona de mezcla, luego de la cual, el cuerpo receptor de agua debe cumplir los valores del ECA del agua, que dependen de la categoría de uso del cuerpo receptor.

La tabla N°12 muestra los ECA de algunas comparaciones en categorías establecidas en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. (SUNASS, 2015)

El control de los vertimientos autorizados está a cargo del ANA, información necesaria para evaluar si la tecnología de la PTAR permite el cumplimiento de los ECA-Agua. A la fecha, no existe una base de datos de consulta de la calidad de agua de los recursos hídricos del país.

Tabla N°12. Comparación de los LMP para efluentes de PTAR y ECA -Agua

PARAMETROS		LMP	ECA Y FACTOR DE DILUCION (FD) DEL LMP NECESARIO EN UN CUERPO NATURAL LIBRE DE CONTAMINACION PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ECA									
			CATEGORIA 1A2 2)		CATEGORIA 1A3 2)		CATEGORIA 1B1 2)		CATEGORIA A 2C3 2)		CATEGORIA 3 3)	
			ECA	FD 1)	ECA	FD 1)	ECA	FD 1)	ECA	FD 1)	ECA	FD 1)
DBO5	mg/L	100	5	20	10	10	5	20	10	10	15	7
DQO	mg/L	200	20	10	30	7	30	7			40	5
SST	mg/L	150										
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 mL	10000	2000	5	20000	1	200	50	1000	10	2000	5
ACEITES Y GRASAS	mg/L	20	1	20	1	20		4	2	10	2	12
NITROGENO AMONICAL	mg/L	45 3)	2,0	23	3,7	12			0,2			
FOSFORO (FOSFATO TOTAL)	mg/L	14	0,15	93	0,15	93			0,1		1	

FD = Factor de dilución calculado para que el efluente de la PTAR que cumple los LMP pueda cumplir también los ECA-Agua.

1) Categoría 1 = Poblacional y recreacional:

Subcategoría A2 = aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

Subcategoría A3 = aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Subcategoría B1 = aguas superficiales destinadas para recreación por contacto primario.

Categoría 2 = Actividades marino-costeras; subcategoría C3 = otras actividades

Categoría 3 = Riego de vegetales y bebida de animales; riego de vegetales de tallo alto.

- 2) Calidad del efluente de una PTA R de lagunas facultativas considerando una concentración en el afluente según la norma OS.090 y una remoción de nitrógeno total de 40% y del fósforo de 30%.

Fuente: (SUNASS, 2015)

Valores Máximos Admisibles

Las descargas de aguas no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y los valores máximos admisibles (VMA) son reguladas y establecidos por el Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA (MVCS, 2006). Se entienden los valores máximos admisibles como aquel valor de la concentración de elementos o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico, que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a la infraestructura y equipos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

El Reglamento de los VMA establece el programa de monitoreo y el procedimiento de fiscalización y sanción en el caso de incumplimiento por una descarga no doméstica.

Límites Máximos permisibles para el reúso del agua residual tratada

Actualmente no existen límites máximos permisibles para el agua residual tratada que será reutilizada para el riego, ni para otros tipos de reúso. Los ECA de la categoría 3 definen estándares de la calidad para un cuerpo natural de agua superficial que será

utilizado para riego, lo cual no implica que estos valores también puedan ser considerados como LMP para efluentes de PTAR.

En el artículo 150 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos se señala que para la evaluación de las solicitudes de autorización de reúso de efluentes tratados, se deben tomar en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o que en su defecto se utilicen las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), (SUNASS, 2015).

En el mencionado reglamento se señala también que la Autoridad Nacional del Agua es responsable de autorizar el reúso de las aguas residuales tratadas y que la autoridad administrativa del agua correspondiente es la encargada del control y vigilancia del reúso de las aguas residuales tratadas. En el caso del reúso para riego de áreas verdes, se requiere la opinión técnica favorable de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). En relación con este tema, las guías de la OMS de 1989 y 2006 dan recomendaciones sobre las medidas de protección de la salud, sistemas de monitoreo, prevención de los riesgos ambientales y desarrollo de una política nacional para el manejo de los beneficios y riesgos del reúso de aguas residuales tratadas.

Guía de la OMS para el Reúso de Aguas Residuales

Para la evaluación de solicitudes de autorización del reúso de efluentes tratados, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los valores de las guías de la OMS de 1989 o la versión actual del 2006. La versión de la guía del año 1989 define 3 categorías de acuerdo con el tipo de reúso. (Véase la tabla N°13). Las guías de la OMS del 2006 definen la calidad del

agua residual a reutilizar en función de la evaluación del riesgo para la salud de los que participan en la cadena del reúso: el consumidor de los productos, los agricultores y la población aledaña. La tabla N°16 muestra que los ECA presentan valores para coliformes mucho más estrictos para cuerpos de agua que se usan para el riego de cultivos de tallo alto que las guías de la OMS de 1989 y 2006.

Tabla N°13. Recomendaciones de la calidad microbiológica del agua de reúso para riego

CATEGORIA	CONDICIONES DEL REUSO	GRUPO EXPUESTO	HELMINTOS INTESTINALES B) (HUEVOS/L C)	COLIFORMES (PROMEDIO POR 100 mL C)	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos deportivos y parques públicos d)	Trabajadores, consumidores, usuarios	≤ 1	≤ 1000 d)	Lagunas de estabilización en serie diseñadas para lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento similar
B	Riego de cereales, cultivos industriales, forrajes y árboles e)	Trabajadores	≤ 1	No hay un estándar de calidad recomendado	Retención en lagunas de estabilización entre 8 y 10 días o remoción equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego de cultivos de la categoría B, si no hay exposición de trabajadores y del público	Ninguno	Sin aplicación	Sin aplicación	Tratamiento preliminar según el requerimiento de la tecnología de riego, pero no menor que la sedimentación primaria

- En casos particulares, factores epidemiológicos, socioculturales, medioambientales y los lineamientos modificados, respectivamente.
- Especies de áscaris, Trichuris y anquilostoma.
- Durante el tiempo de riego.
- Para césped público donde puede existir contacto directo para el público se recomiendan valores más estrictos (≤ 200 coliformes fecales/100 ml).
- En el caso de frutales, el riego debería ser paralizado dos semanas antes de la cosecha y las frutas no deberían ser recogidas del suelo. No aspersión.

Fuente: OMS, 1989 (SUNASS, 2015)

Tabla N°14. Límites máximos de la presencia de huevos de helmintos y grado de remoción de organismos patógenos necesarios para no afectar la salud humana

PARAMETROS	GRADO DE REMOCION DE ORGANISMOS PATOGENOS	N.º DE HUEVOS DE HELMINTOS
	(EN UNIDADES LOGARITMICAS) a)	HUEVO/LITRO
Irrigacion de cultivos de consumo directo		
Lehuga		6 ≤1 b) c)
Cebolla		7 ≤1 b) c)
Irrigacion de otros cultivos		
De forma mecanizada		3 ≤1 b) c)
De forma artesanal		4 ≤1 b) c)
Irrigacion por goteo		
Cultivo de tallo alto		2 Sin recomendación
Cultivo de tallo bajo		4 ≤1 c) d)

- a) El grado de remoción debe ser el resultado del tratamiento de las aguas residuales y de otras medidas de protección de la salud.
- b) En el caso de exposición de niños menores de 15 años se deben aplicar medidas adicionales de protección de la salud (por ejemplo: tratamiento hasta 0,01 huevos/L, uso de equipos de protección como zapatos, botas, guantes, lentes, vacunas y control parasitario).
- c) Se determinará por el promedio aritmético durante la temporada de riego. El promedio de ≤ 1 huevo/L se debe alcanzar por lo menos en el 90 % de las mediciones; se permiten valores ocasionales de hasta 10 huevos/L. Para el tratamiento por lagunas de estabilización se puede utilizar como indicador del cumplimiento ≤ 1 huevos/L, con un tiempo de retención mínimo de 10 días.
- d) No se cosecha del suelo.

Fuente: OMS, 2006 (SUNASS, 2015)

Tabla N°15. Remoción de organismos patógenos por medidas de protección

MEDIDA	GRADO DE REMOCION EN UNIDADES LOGARITMICA	MEDIDA	GRADO DE REMOCION EN UNIDADES LOGARITMICAS
Tratamiento de aguas residuales	1--6 a)	Distancia de proteccion de la aspersion	1
Irrigacion local(por goteo) de cultivos de tallo bajo	2	Mortalidad de patogenos en superficies	0,5-2 por dia
Irrigacion local(por goteo) de cultivos de tallo alto	4	Lavado de los productos con agua	1
Regulacion del sistema de aspersion	1	Desinfeccion de productos	2
		Pelar productos ⁰	2
		Cocinar productos	6--7

Fuente: OMS, 2006 (SUNASS, 2015)

Tabla N°16. Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego

TIPO DE RIEGO	OPCION 1)	CONCENTRACION DE ORGANISMOS PATOGENOS Y HUEVOS DE HELMITOS EN EL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES(EN E.COLI/100 mL Y HUEVOS/L)					
		OMS, 2006 5)		OMS, 1989 2)		ECA-AGUA (COLIF. TERMOTOLERANTES)	
		E.COLI	HUEVOS	E.COLI	HUEVOS	RIEGO DE VEGETALES TALLO BAJO	RIEGO DE VEGETALES TALLO ALTO
CULTIVO DE CONSUMO DIRECTO	A	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	B	≤ 10	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	C	≤ 10	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1		$\leq 2 \times 10^3$
	D	≤ 10	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	F	$\leq 10^3, \leq 10^1$ o $\leq 10^0$ dependiendo de la norma nacional	Sin recomendación	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
OTROS CULTIVOS		≤ 10	≤ 1	Sin recomendación	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	G	≤ 10	≤ 1	Sin recomendación	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	H	≤ 10	Sin recomendación	Sin recomendación	NO APLICA	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$

1) EXPLICACION DE LAS OPCIONES:				
OPCION	CULTIVO	DESCRIPCION DE LA COMBINACION DE LAS MEDIDAS DE REMOCION DE ORGANISMOS PATOGENOS	REMOCION EN UNIDADES LOGARITMICAS	
			POR EL TAR	TOTAL
A	Raices	Lavado de los productos + mortalidad en superficies entre la fecha del último riego y el consumo + tratamiento de aguas residuales	4	TOTAL
B	Lechuga	Lavado de los productos + mortalidad en superficies entre la fecha del último riego y el consumo + tratamiento de aguas residuales	3	6
C	Tallo alto	Riego por goteo + tratamiento de aguas residuales	2	6
D	Tallo bajo	Riego por goteo + tratamiento de aguas residuales	4	6
E		Tratamiento de aguas residuales	7	7
F		Riego de forma artesanal + tratamiento de aguas residuales (para proteger a los regantes)	4	7
G		Riego mecanizado + tratamiento de aguas residuales (para proteger a los regantes)	3	7
H		Riego subsuperficial + tratamiento de aguas residuales	0-1	7

Fuente: (OMS, 2006) (SUNASS, 2015)

Tabla N°17. Concentración máxima de elementos químicos tóxicos para la salud humana en suelos regados con aguas residuales tratadas

ELEMENTO QUIMICO	CONCENTRACION EN EL SUELO EN mg/kg
SUSTANCIAS INORGANICAS	
ANTIMONIO	36
ARSENICO	8
BARIO 1)	302
BERILIO 1)	0,2
BORO 1)	1,7
CADIMIO	4
FLUOR	635
PLOMO	84
MERCURIO	7
MOLIBDENO 1)	0,6
NIQUEL	107
SELENIO	6
PLATA	3
TALIO 1)	0,3
VANADIO 1)	47
SUSTANCIAS ORGANICAS	
ALDRIN	0,48
BENCENO	0,14
CLORDANO	3
CLOROBENCENO	211
CLOROFORMO	0,47
2,4-D	0,25
DDT	1,54
DICLOROBENCENO	15
DIELDRIN	0,17
DIOXINA	0,00012
HEPTACLORO	0,18
HEXACLOROBENCENO	1,4
LINDANO	12
METOXCICLORO	4,27
PAH	16
PCB	0,89
PENTAFLOROFENOL	14
FTALATO	13,733
PIRENO	41
ESTIRENO	0,68
2,4,5-T	3,62
TETRACLOROETANO	1,25
TETRACLOROETILENO	0,54
TOLUENO	12
TOXAFENO	0,013
TRICLOROETANO	0,68

Fuente: (World Health Organization, 2006)

4.3. Base de diseño de sistemas usados

Una tecnología tiende a ser sustentable cuando hace uso de los recursos e insumos locales en la medida de lo posible y que presente el menor impacto al medio ambiente a través del control del control de sus residuos y emisiones, preferentemente

transformándolos en subproductos susceptibles de aprovechamiento en el entorno.

El propósito es el de plantear los lineamientos necesarios para el diseño de los sistemas más comunes e importantes de Perú, evaluar volúmenes, áreas necesarias, y costos a tomar en cuenta para la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

4.3.1. Plantas con lagunas de estabilización

El sistema de lagunas de estabilización ha sido implementado en muchos lugares de Perú tales como: Sierra central, selva central, Huánuco, etc. La mayoría de lagunas de estabilización tienen lagunas anaeróbicas.

4.3.1.1. Lagunas anaeróbicas

La tarea principal de estas lagunas es la eliminación de la DBO. El área específica necesaria depende de la temperatura del agua (promedio en el mes más frío), profundidad, carga DBO (g DBO/ (hab. •d)), y caudal (l/ (hab. •d)).

4.3.1.2. Lagunas facultativas

Estas lagunas tienen la función principal de eliminar la DBO y los coliformes. El diseño debe asegurar suficiente oxígeno en las lagunas (producido por las algas) y normalmente debe cumplir solamente un valor límite del efluente de 80mg DBO/l, incluida la DBO de las algas. Las áreas se pueden calcular para los sistemas de lagunas facultativas con lagunas anaeróbicas previas y para lagunas facultativas solamente.

4.3.1.3. Lagunas de maduración

Las lagunas de maduración (profundidad entre 1 hasta 1,5m) especialmente tienen la función de remover coliformes. Se calcula con una profundidad de 1,2m y una relación longitud/ancho 3:1 para lagunas facultativas y con una relación longitud/ancho 10:1 para lagunas de maduración. Se considera en el modelo de Yáñez Cossío, que también en las lagunas facultativas existe una remoción de gérmenes (Wolfgang, 2010). Con estos valores, se puede definir las áreas específicas.

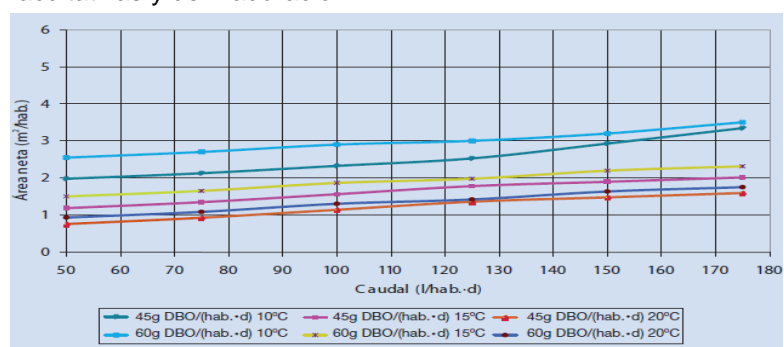
4.3.1.4. Áreas específicas

a. Áreas de las lagunas (anaeróbicas, facultativas y maduración)

Los gráficos N°01 y 02 muestran las áreas específicas netas necesarias (áreas de la superficie del agua) de plantas con diferentes condiciones (cargas específicas de la DBO/temperaturas).

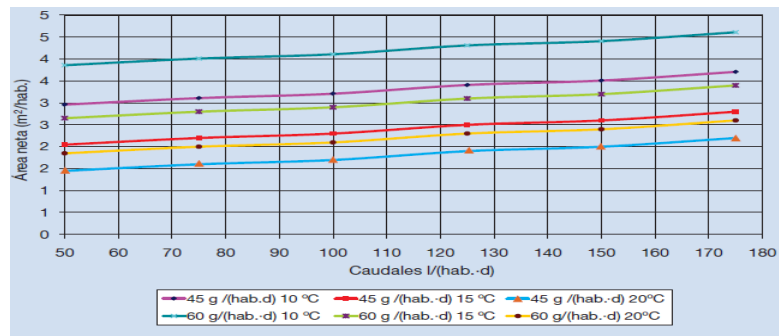
El área representa la superficie necesaria para la construcción de todas las lagunas. Se puede comprender estas áreas como áreas mínimas.

Grafico N°01. Áreas para una planta con lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración



Fuente: (Wolfgang, 2010).

Grafico N°02. Áreas para una planta con lagunas facultativas y de maduración (sin lagunas anaeróbicas)



Fuente: (Wolfgang, 2010).

b. Áreas brutas

Los resultados mostrados, se refieren al área del espejo de agua. No obstante, en una planta se necesitan también espacios para el borde libre, diques, caminos pre tratamiento y edificaciones. Una planta con diferentes lagunas en paralelo demanda mayor superficie que una planta donde cada etapa tiene solamente una laguna. Estos suplementos son considerados con el factor f , un factor de multiplicación. En caso de plantas pequeñas, este factor es más grande en comparación con plantas grandes.

El autor calcula f para plantas menores a 10.000 hab. $f = 2$, para plantas de 10.000 hasta 100.000 hab. $f = 1,75$, y para plantas mayores a 100.000 hab. $f = 1,4$. Estos valores son el resultado del análisis de muchos diseños de plantas realizados por el autor (Wolfgang, 2010).

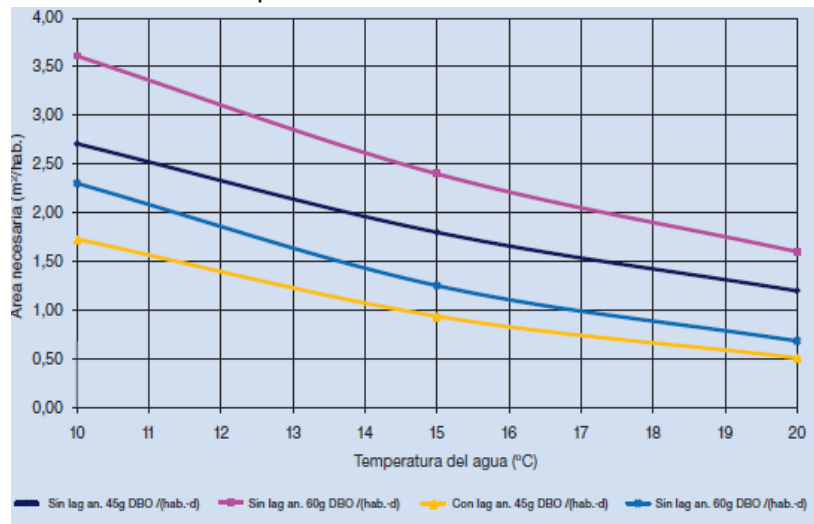
4.3.1.4.1. Plantas combinadas con una estación de desinfección

Para reducir la DBO (hasta 80mg DBO/l) normalmente es suficiente construir las lagunas anaeróbicas y facultativas. Esta combinación puede ser una solución

que necesita poca área y bajos costos de inversión; sin embargo al evitar la construcción de lagunas de maduración y construir una planta de desinfección separada (por ejemplo Cloración) significa elevar los costos de operación (químicos, costos del personal adicional).

El grafico N°03 muestra las áreas necesarias para las lagunas en este caso. Aquí las áreas dependen especialmente de la carga de la DBO (en menor grado de los caudales).

Grafico N°03: Áreas netas específicas necesarias para lagunas de estabilización (sin lagunas de maduración) en caso de la construcción de una planta de desinfección



Fuente: (Wolfgang, 2010).

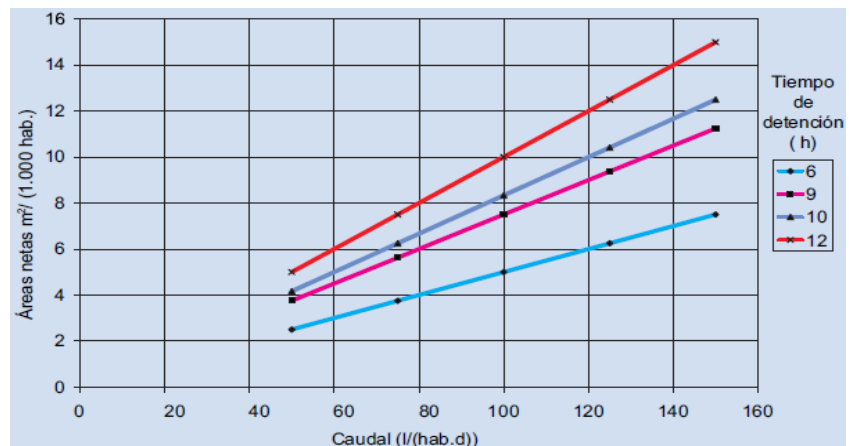
4.3.2. Plantas con reactores anaeróbicos y lagunas de maduración

4.3.2.1. Reactores

La temperatura de diseño es la temperatura promedio del agua en el mes más frío del año. Construir estos sistemas tiene sentido solamente en caso de que las temperaturas sean superiores a los 13°C. En caso de temperaturas más bajas, su funcionamiento no es seguro. La altura de un

reactor de este tipo es más o menos 5m. Esto significa un espacio necesario para la instalación de 2 hasta 16m²/(1000 hab.). Es posible eliminar la DBO hasta el 80%, dependiendo de las características del agua y del tiempo de detención. El espacio necesario para la instalación de reactores se muestra en el grafico N°04.

Grafico N°04. Área necesaria para la instalación de reactores UASB, RALF



Fuente: (Wolfgang, 2010).

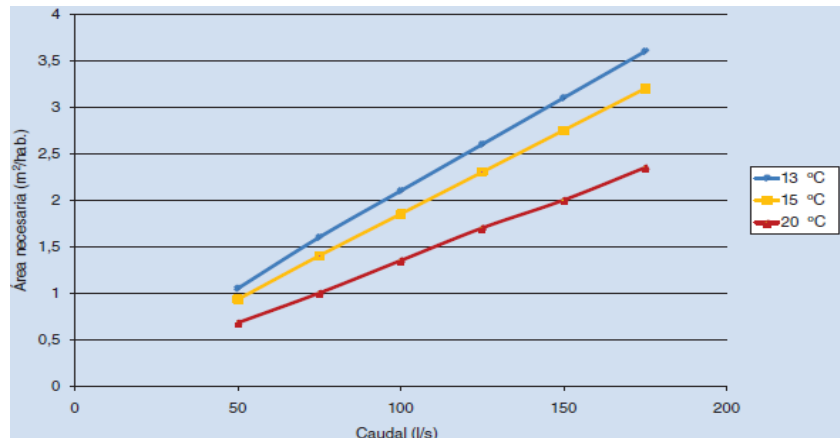
4.3.2.2. Lagunas en combinación con reactores anaeróbicos

Lettinga, Velsen, Hobma, Zeeuw, y Klapwijk (1993) concluyen que cuando se combinan un reactor anaeróbico (UASB / RALF) con lagunas, se puede disminuir la carga de la DBO de 70 hasta 80% (Wolfgang, 2010). Sin embargo el reactor no es capaz de disminuir los coliformes fecales. Con los valores de las áreas netas para las lagunas, es posible disminuir los coliformes fecales a un valor de 1.000 CF/100ml con una concentración del afluente de 107 CF/100ml (entrada lagunas) y una profundidad de 1,2m.

Este sistema también puede tener sentido en combinación con una planta de desinfección separada (p.e. cloración),

cuando no es necesario eliminar las coliformes en la laguna. En este caso (profundidad 1,5m) se necesitan solamente áreas específicas para las lagunas.

Grafico N°05. Areas para lagunas despues de reactores UASB y RALF



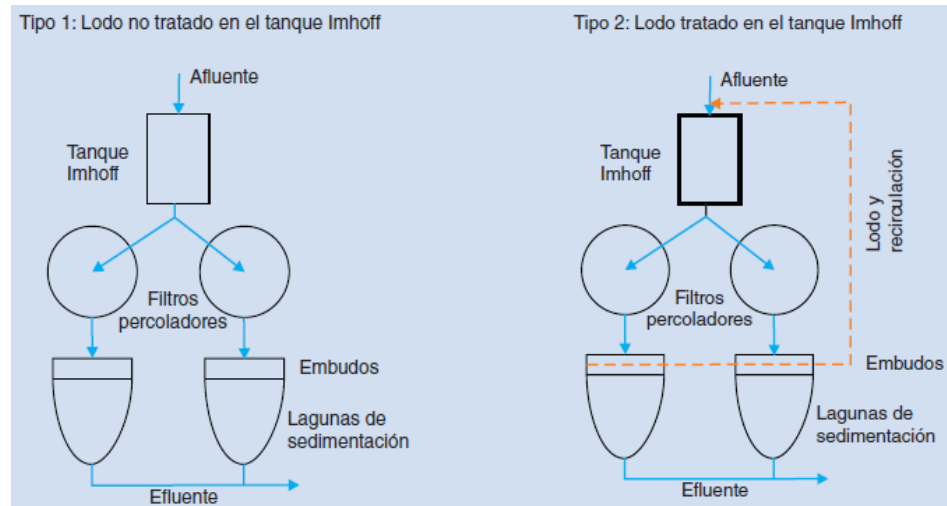
Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.3. Plantas con tanques imhoff, filtros percoladores y lagunas de sedimentación

En una planta de este tipo el afluente corre después de pretratamiento (rejas, desarenadores) a un tanque Imhoff (sedimentador primario) y después, sobre filtros percoladores y lagunas de sedimentación. Al final del proceso se encuentran lagunas de maduración. Para el diseño de los tanques Imhoff es necesario conocer la producción de los lodos en los filtros (la etapa después de los tanques Imhoff). Principalmente existen dos sistemas para la combinación de estas etapas.

La diferencia de los dos sistemas es que en el sistema tipo 2, el lodo de los filtros va a ser digerido en el tanque Imhoff; en cambio el sistema tipo 1, es digerido en las lagunas de sedimentación. Por ello, en el caso del tipo 2, el volumen del digestor del tanque Imhoff tiene que ser mucho más grande en comparación al sistema tipo 1.

Figura N°33: Sistemas con tanques Imhoff y filtros percoladores

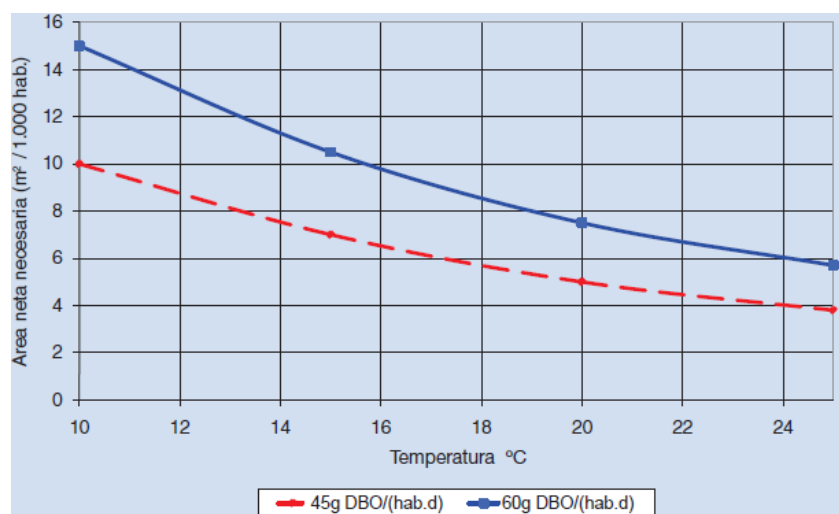


Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.3.1. Filtros percoladores

Para obtener un efluente de 80mg DBO/l, se puede calcular para un relleno de plástico, que es recomendable, con una carga volumétrica de 0,6kg DBO/ (m³•d) para 10°C (temperatura del agua). La remoción de la DBO en tanques Imhoff, se puede estimar con 30 hasta 35%, importante para determinar la carga del filtro.

Grafico N°06. Área necesaria para la instalación de filtros percoladores. Valor límite de 80mg DBO/l y profundidad de 5m



Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.3.2. Tanques Imhoff

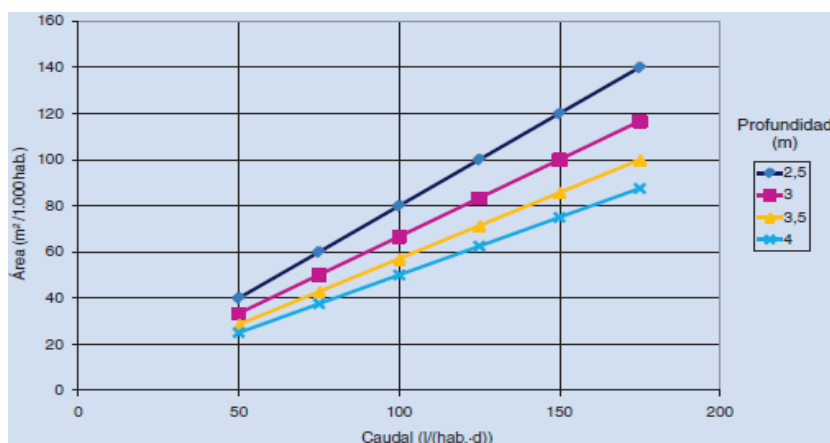
Por las diferencias mencionadas, en el sistema 2 el tanque Imhoff tiene que ser más grande en comparación con el sistema 1. Sin embargo la recirculación del lodo permite prolongar el tiempo antes de tener que vaciar las lagunas.

En caso de una profundidad de 8,5m el área adicional necesaria para la instalación de la planta (en comparación al sistema 1) tiene un rango entre 0,5 hasta 3m²/1.000 habitantes (áreas netas). El área total para los tanques Imhoff tiene un rango entre 3 hasta 12m²/1.000 habitantes (áreas netas).

4.3.3.3. Áreas para lagunas de sedimentación

Las áreas netas de las lagunas para diferentes profundidades y caudales, se muestran en el gráfico N°07.

Gráfico N°07. Áreas netas para lagunas de sedimentación



Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.3.4. Lechos de secado

Las áreas de los lechos de secado dependen del lodo producido. Si se trata del sistema tipo 1 se necesita menos

espacio. Si la planta trabaja con un sistema tipo 2 el lodo que se saca del Tanque Imhoff contiene adicionalmente el lodo producido en los filtros percoladores. En caso de una re-circulación de lodo, hay que considerar que el lodo adicional de los filtros y las áreas necesarias pueden aumentar hasta en un 50%.

Tabla N°18 Areas netas para lechos de secado

	20g SS/ (hab.•d)	35g SS / (hab.•d)	50g SS / (hab.•d)
Lodo g/(hab.•d)	13	23	33
Lodo Kg (hab.•año)	4,75	8,3	11,86
Área necesaria m ² / 1.000 hab.	48	83	119

Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.3.5. Áreas totales de la planta

Las áreas de los lechos de secado dependen del lodo producido. Si se trata del sistema tipo 1 se necesita menos espacio. Si la planta trabaja con un sistema tipo 2 el lodo que se saca del Tanque Imhoff contiene adicionalmente el lodo producido en los filtros percoladores.

Tabla N°19. Áreas netas necesarias (m²/1000hab)

	Mínimo	Máximo
Tanques Imhoff	3	12
Filtros percoladores	8	15
Tanque de equalización	2	8
Lagunas	40	140
Lechos de secado	48	160
Suma	101	335

Fuente: (Wolfgang, 2010).

En caso de una re-circulación de lodo, hay que considerar que el lodo adicional de los filtros y las áreas necesarias pueden aumentar hasta en un 50%.

4.3.4. Demanda de áreas necesarias

Para plantas totalmente tecnificadas es posible emplear un área menor a 0,5m²/hab. En caso de plantas en base a lodos activados y deshidratación del lodo con máquinas, se necesita sólo un área de 0,25m²/hab. En caso de lagunas aireadas se puede calcular con 1,0 hasta 1,5m²/hab., para cumplir con un valor límite de 80mg DBO/l (Wolfgang, 2010).

4.3.5. Tecnologías disponibles

Existen diferentes posibilidades de tecnologías con respecto a la construcción y al diseño. Se describen condiciones particulares para buscar el diseño más apto para una situación especial. Casi todas las variantes se pueden combinar con estaciones de desinfección y precipitación. Las tablas N°20, 21 y 22 (Wolfgang, 2010); muestra combinaciones comunes de etapas.

Tabla N°20. Tipos de etapas en plantas de tratamiento de agua

1	Lagunas anaeróbicas	11	Precipitación
2	Lagunas facultativas	12	Lagunas de sedimentación
3	Lagunas de maduración	13	Pantanos artificiales (FWS / VBS wetlands)
4	Reactores anaeróbicos como UASB, RALF	14	Lechos de infiltración
5	Tanques Imhoff	15	Desinfección (Cloro, Ozono, UV)
6	Fosas sépticas	16	Filtros anaeróbicos
7	Filtros percoladores	17	Filtros aireados
8	Biodiscos	18	Sedimentadores primarios
9	Lagunas con aireación	19	Digestores para lodo
10	Lodos activados	20	Sedimentadores secundarios

Fuente: (Wolfgang, 2010)

Tabla N°21. Combinaciones de etapas comunes (Wolfgang, 2010)

Etapas combinadas (según Tabla 3)					Combinación (Definición tabla 5)	Pretratamiento necesario
1	2	3			AT	R (D)*
2	3				T	R (D)*
1	2	15			ATDe	R (D)*
2	15				TDe	R (D)*
4	3				UT	RD, TD
4	3	15			UTDe	RD, TD
4	10		20		UL	RD, TD
4	10	15	20		ULDe	RD, TD
4	10	3	20		ULT	RD, TD
5	7				IF	RD, TD
5	7	15	20 (12)		IFDe	RD, TD
5	7	3	20 (12)		IFT	RD, TD
5	10	20			IL	RD, TD
5	10	15			ILDe	RD, TD
5	10	20	3		ILT	RD, TD
9					LA	RD, TD
9	15				LADe	RD, TD
4	10	20	3		ULM	RD, TD
4	10	20	15		ULDe	RD, TD
10	20				L	RD, TD
10	15	20			LDe	RD, TD
10	3	20			LT	RD, TD
10	20	18	19		L S	RD, TD
10	15	20	18	19	LSDe	RD, TD
10	3	20	18	19	LSM	RD, TD

*La última columna es en caso de mucha encontrarse mucha arena.

Tabla N°22. Definiciones de las abreviaturas de la tabla N°21 (Wolfgang, 2010)

AT	Lagunas de estabilización (lagunas anaeróbicas, facultativas, maduración)
T	Lagunas de estabilización (lagunas facultativas, maduración)
ATDe	Lagunas de estabilización (lagunas anaeróbicas, facultativas, desinfección)
TDe	Lagunas de estabilización (facultativas, desinfección)
UT	Reactores anaeróbicos, lagunas de maduración
UTDe	Reactores anaeróbicos, lagunas de maduración pequeñas, desinfección
UL	Reactores anaeróbicos, lodos activados
ULDe	Reactores anaeróbicos, lodos activados, desinfección
ULM	Reactores anaeróbicos, lodos activados, lagunas maduración pequeñas
IF	Tanques Imhoff, filtros percoladores
IFDe	Tanques Imhoff, filtros percoladores, desinfección
IFM	Tanques Imhoff, filtros percoladores, lagunas de maduración pequeñas

IL	Tanques Imhoff, lodos activados
ILDe	Tanques Imhoff, lodos activados, desinfección
ILM	Tanques Imhoff, lodos activados, lagunas de maduración pequeñas
LA	Lagunas con aireación
LADe	Lagunas con aireación, desinfección
ULM	Reactores anaeróbicos, lodos activados, laguna de maduración pequeñas
ULDe	Reactores anaeróbicos, lodos activados, desinfección
L	Lodos activados (tanque de aireación, sedimentador secundario)
LDe	Lodos activados (tanque de aireación, sedimentador secundario), desinfección
LT	Lodos activados (tanque de aireación, sedimentador secundario), lagunas de maduración pequeñas
L S	Lodos activados (sedimentador primario, tanque de aireación, sedimentador secundario)
LSDe	Lodos activados (sedimentador primario, tanque de aireación, sedimentador secundario, desinfección)
LSM	Lodos activados (sedimentador primario, tanque de aireación, sedimentador secundario, lagunas de maduración pequeñas)

Para tomar una decisión, se deben considerar otros criterios adicionales como el potencial de purificación: La tabla N°23 muestra los sistemas que pueden cumplir con las demandas requeridas. También los DBO y coliformes fecales

El grafico N°08 es una referencia para el rango de valores en condiciones usuales y favorables. En todo sistema de PTAR es posible disminuir los coliformes casi en su totalidad, mediante la instalación de una estación de desinfección. Este potencial no es considerado en el grafico N°08.

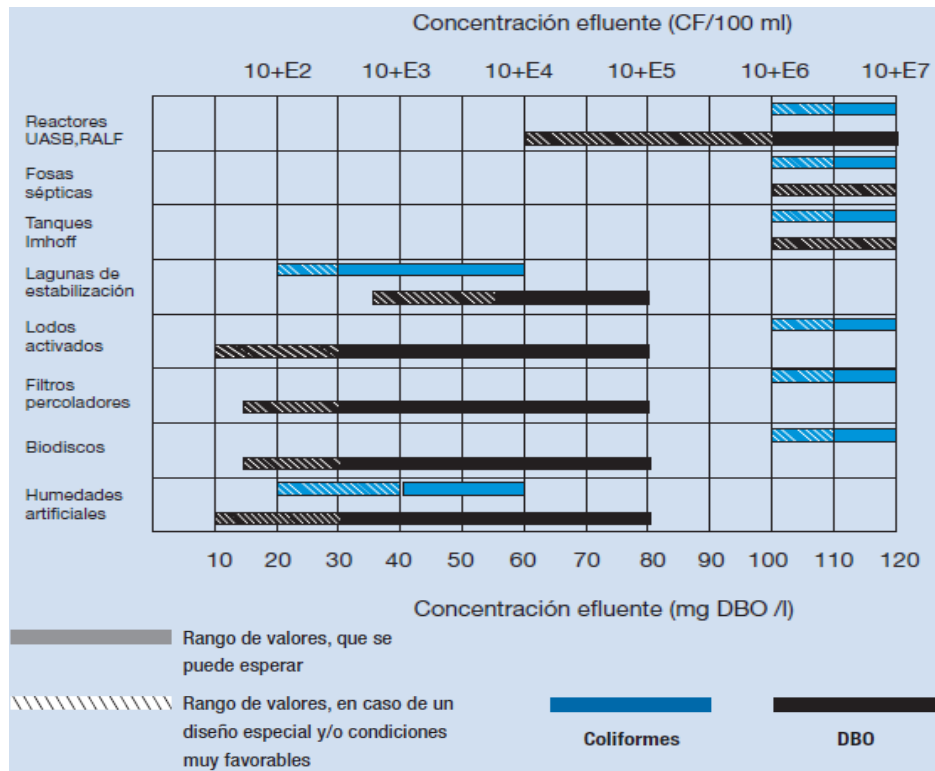
Tabla N°23. Sistemas que cumplen diferentes demandas al efluente

	DBO < 80 mg/l	DQO < 250 mg/l	Coliformes < 1000 CF/l	Helminthos < 1 H/l	NH ₄ -N < 10 mg/l	NH ₄ -N < 2 mg/l	Remoción Ntot > 80 %
AT	x	x	x	x			
T	x	x	x	x			
ATDe	x	x	x	x			
TDe	x	x	x	x			
UT	x	x	x	x			
UTDe	x	x	x	x			
UL	x	x			x	x	
ULDe	x	x	x		x	x	
ULM	x	x		x*	x	x	
IF	x	x			x	x	
IFDe	x	x	x		x	x	
IFM	x	x		x*	x	x	
IL	x	x			x	x	
ILDe	x	x	x		x	x	x
ILM	x	x		x*	x	x	x
LA	x	x		x*			
LADe	x	x	x	x*			
ULM	x	x	x	x*	x	x	
ULDe	x	x	x		x	x	
L S	x	x			x	x	x
LSDe	x	x	x		x	x	x
LSM	x	x		x*	x	x	x

X* - En caso de tiempos de detención de más de 10 días.

Fuente: (Wolfgang, 2010)

Grafico N°08. Potencial de la eliminación de la DBO y coliformes fecales



Fuente: (Wolfgang, 2010).

- Eliminación de helmintos

La eliminación de helmintos se realiza especialmente en lagunas. Para eliminar helmintos a un valor de 1H/l se necesita un tiempo de detención de aproximadamente 10 días. (Romero, 1999)

- Eliminación de nitrógeno y fósforo

En lagunas de estabilización: Una nitrificación puede tener lugar en lagunas de estabilización, en las lagunas facultativas y lagunas de maduración. Teóricamente, es siempre posible realizar una nitrificación con aéreas superficiales grandes y a temperaturas de más de 4°C. Grandes áreas (tiempo de detención alto), altas temperaturas y altos valores de pH son favorables para aumentar la disminución del nitrógeno. La eliminación de una pequeña parte de fósforo en la PTAR, pasa por la incorporación de bacterias, algas y procesos de una

precipitación natural. Es posible integrar una etapa de precipitación, lo que significa la posibilidad de cumplir valores límites en el efluente de la planta (Romero, 1999).

En filtros percoladores: La nitrificación (oxidación del amonio amoniacal a nitrato) en un filtro percolador es posible, pero depende de una remoción muy alta de la DBO. Es un proceso complicado y poco común. Para el crecimiento de bacterias se necesita fósforo, por esto es posible eliminar por cada gramo de la DBO a la entrada de una planta de 0,01 hasta 0,005g de P (Wolfgang, 2010). En caso de que no existiera un tratamiento especial (precipitación y otros), la remoción de fósforo es aproximadamente de 15%. Con precipitación simultánea es posible lograr buenos resultados pero en caso de una filtración con floculación como última etapa, se puede alcanzar mejores resultados.

- En humedales artificiales (wetlands)

Hay que diferenciar especialmente entre dos tipos que son los más importantes:

FWS wetlands (surface flow wetlands) En caso de contar con una etapa principal previa a los wetlands, con un efluente de 30mg DBO/l, y una carga superficial de 40kg DBO/(ha•día) es posible obtener un valor menor a 20mg DBO/l. Respecto a su potencial de denitrificación es posible.

VBS wetlands (subsurface flow wetlands) Hay recomendaciones para que este sistema pueda trabajar, después de un tanque séptico y otro de pretratamiento, con una carga superficial de 6g DBO/(m²•día). No es recomendable usar este sistema en caso de que la demanda de una nitrificación amplia o una eliminación del nitrógeno total, sea muy alta.

- Lodos activados

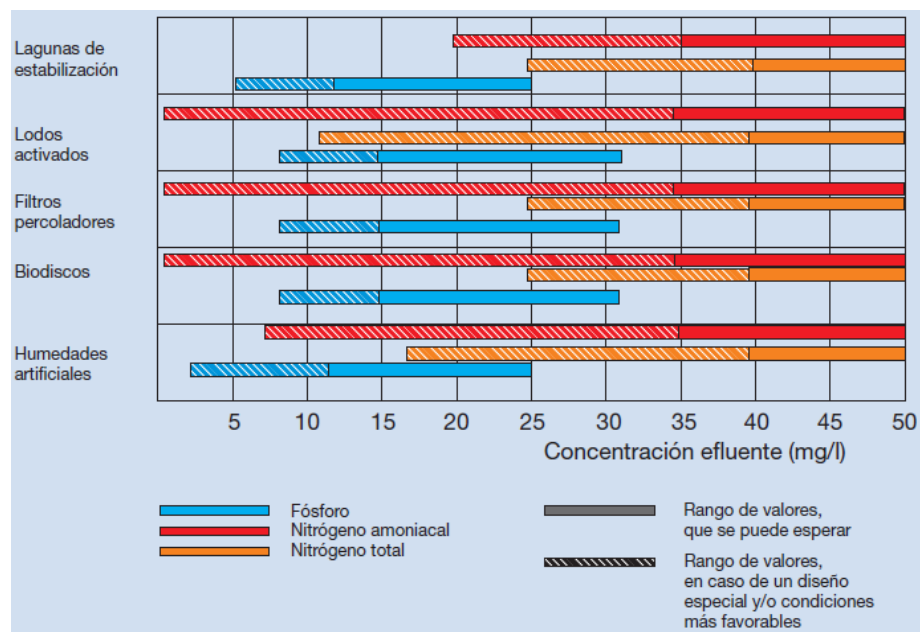
Los lodos activados con un diseño adecuado pueden cumplir valores del efluente menores a 1mg NH₄-N /l y una eliminación del nitrógeno total (N_{tot}) de hasta 80%. Acerca de la eliminación del fósforo, vale lo mismo que se indica para filtros percoladores.

- Los diferentes sistemas en comparación

El grafico N°9 muestra rangos de valores para el efluente de PTAR, que se pueden esperar para los diferentes sistemas. Los valores dependen de muchos factores como cargas (concentraciones) a la entrada, caudales a la entrada, diseño de la planta, temperatura, valor de pH y componentes en el agua que inhiben las reacciones bioquímicas.

Los valores para el fósforo no prevén una precipitación ni una filtración con floculación, porque existe la posibilidad de combinar estas técnicas con cada sistema, se pueden lograr los mismos valores del efluente con cada sistema.

Grafico N°9. Concentraciones en efluente de las plantas



Fuente: (Wolfgang, 2010).

4.3.6. Costos de Inversión

4.3.6.1. Costos para plantas

Los costos de inversión dependen de factores como el momento de la realización de la inversión (inflación), la región, el diseño, el tamaño de la planta, los valores límites del efluente y las características del agua residual. La tabla N°24 muestra la inversión estimada para seis casos evaluados en Lima, por lo que se puede apreciar que los componentes de la inversión en obras dependen de la tecnología de tratamiento elegida. Se tiene que las estructuras de concreto representan entre el 62 y 76% de la inversión en todas las plantas, salvo el caso de las lagunas de estabilización, en donde el movimiento de tierras es el que demanda el 72% de la inversión (Moscoso, 2011).

Tabla N°24. Costos de Inversión de seis PTAR en Lima (US\$)

ITEM	DESCRIPCIÓN	Universitaria	Pucusana	Oasis de Villa	Miraflores	Inmaculada	Huascar Parque 26
		Lodos activados	Lagunas de estabilización	Humedal artificial	Tanque Inhof	Lagunas de estabilización	Lagunas aireadas
	Caudal tratado (l/s)	3.0	10.0	0.2	0.9	4.6	70.0
1.00	Obras preliminares	1,184	2,985	900	1,118	1,266	11,201
2.00	Movimiento de tierras	5,144	136,341	4,677	1,696	85,577	3,176,095
3.00	Estructuras de concreto	126,682	6,272	16,560	31,715	485,489	11,516,578
4.00	Sistema de conducción (tuberías)	6,609	13,531	401	1,678	28,147	1,412,285
5.00	Equipo de aireación	1,551					39,744
6.00	Otros equipos	474	4,564	435	752		
7.00	Obras complementarias	3,124	1,982		2,097	1,763	9,824
	Costo directo US\$	144,768	165,675	22,973	39,056	602,242	16,165,727
	Costo indirecto US\$ (15%)	21,715	24,851	3,446	5,858	90,336	2,424,859
	Costo total de la obra (US\$)	166,483	190,526	26,419	44,914	692,578	18,590,586
	Costo del terreno	96,460	36,270	14,340	276,960	868,400	4,878,000
	Costo actual de la planta	262,943	226,796	40,759	321,874	1,560,978	23,468,586

Fuente: IPES, 2008 (Moscoso, 2011).

Otro aspecto importante es el costo del terreno según la ubicación de las plantas. El impacto de este componente permite recomendar que las plantas de tratamiento deben ser ubicadas en áreas lo más alejado posible de la zona urbana. La tabla N°25 muestra los costos de inversión para las seis plantas, expresados en el monto invertido por

persona atendida cuando se incluye o no el costo del terreno.

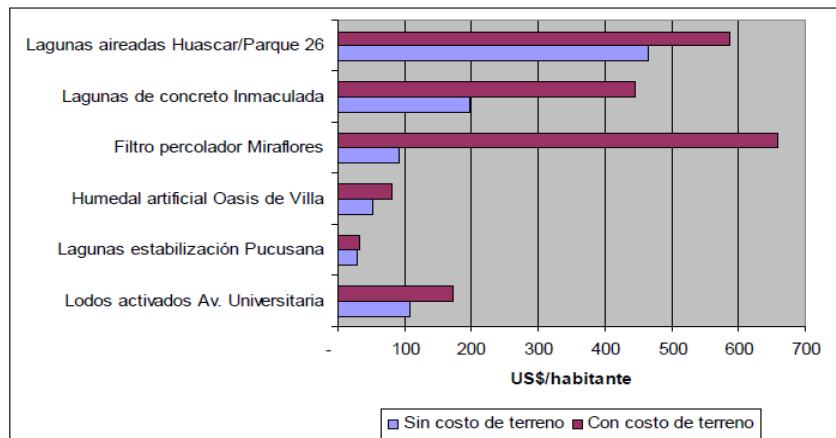
Tabla N°25. Costos de inversión de seis PTAR de Lima según tecnología

Planta	Tecnología	Caudal (l/s)	Población atendida	Costo de la planta (US\$)	Costo del terreno (US\$)	Costo (US\$/persona)	
						Sin terreno	Con terreno
Av. Universitaria	Lodos activados	3.00	1,529	166,483	96,460	109	172
Pucusana	Lagunas de estabilización	4.00	2,700	190,527	36,270	71	84
Pucusana (plena capacidad)	Lagunas de estabilización	10.00	6,750	190,527	36,270	28	34
Oasis de Villa	Humedales artificiales	0.20	500	26,419	14,340	53	82
Miraflores-Costa Verde	Filtros percoladores	0.90	488	44,914	276,960	92	660
Inmaculada	Lagunas de estabilización	4.60	3,500	692,579	868,400	198	446
Huascar/Parque 26	Lagunas aireadas	70.00	40,000	18,590,587	4,878,000	465	587

Fuente: IPES, 2008 (Moscoso, 2011)

Tanto la tabla N°25 como el grafico N°10 muestran que el mayor costo de inversión para tratar las aguas residuales domésticas en Lima corresponde a la Planta de Tratamiento implementada con la tecnología de lagunas aireadas, valor que puede aumentar al sumar el costo del terreno.

Grafico N°10. Costos de inversión de las seis PTAR



Fuente: IPES, 2008 (Moscoso, 2011)

Por el contrario, las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de más bajo costo, aun cuando requieran mayor área de terreno. La planta de lodos activados reporta un costo de inversión, que podría haber sido menor si se ubicara en zonas con terrenos más baratos.

Aplicando esta alternativa tecnológica, se requeriría una inversión menos de un tercio del valor estimado para la opción de las lagunas aireadas. Sin embargo, es necesario que en forma paralela se evalúen los costos de operación y mantenimiento para elegir la tecnología más apropiada, ya que los lodos activados exigen incluir un sistema de desinfección adicional que eleva significativamente estos costos.

La planta de filtros percoladores ha reportado costos de inversión elevados por la ubicación del terreno. Además se debe tener en cuenta que los filtros percoladores solo ofrecen un tratamiento primario, por tanto sus efluentes deben ser aplicados a las áreas verdes sin acceso al público.

El humedal artificial tiene un costo de inversión elevado por su pequeña capacidad de tratamiento. Los humedales artificiales no aseguran una buena remoción de patógenos por sus cortos periodos de retención, a menos que se complementen con un proceso de desinfección.

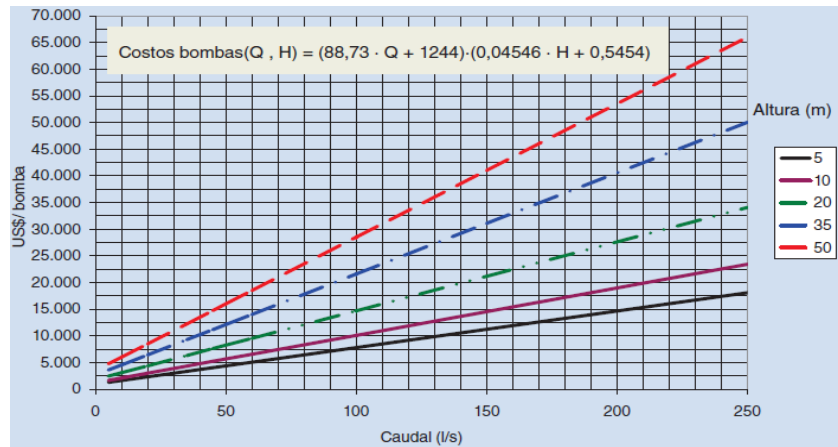
4.3.6.2. Costos para estaciones de bombeo

Para determinar todos los costos de la estación de bombeo, se tienen que sumar los costos de bombas cárcamo (obras), electrotécnica y accesorios. En el grafico N°11 se aprecia los costos de bombas aproximados (Wolfgang, 2010).

Es necesario decidir sobre la base de cálculos de costos (valores presentes), cuál es la solución más económica. La misma que depende especialmente de las alturas, las distancias, los caudales, las pérdidas de presión (costos de energía) y la profundidad del tendido de la tubería ver

si es posible tenderla sobre el nivel del suelo. (UV radiación)

Gráfico N°11. Costos de bombas en el año 2008, Bolivia (sin impuestos ni transporte/flygt)



Fuente: Flygt 2004

4.3.7. Costos operación y mantenimiento

4.3.7.1. Componentes de costo de operación

Los costos de operación de una planta se componen de los factores como personal, energía, depósito de los desechos de la planta, mantenimiento, análisis e insumos de operación (ropa de trabajo, combustible, agua potable, reactivos, etc.)

Para determinar los costos específicos se agrupan aquellas combinaciones que tienen una operación o costos similares, que también dependen de la cantidad de las características del agua residual, de la construcción de la planta y del grado de mecanización.

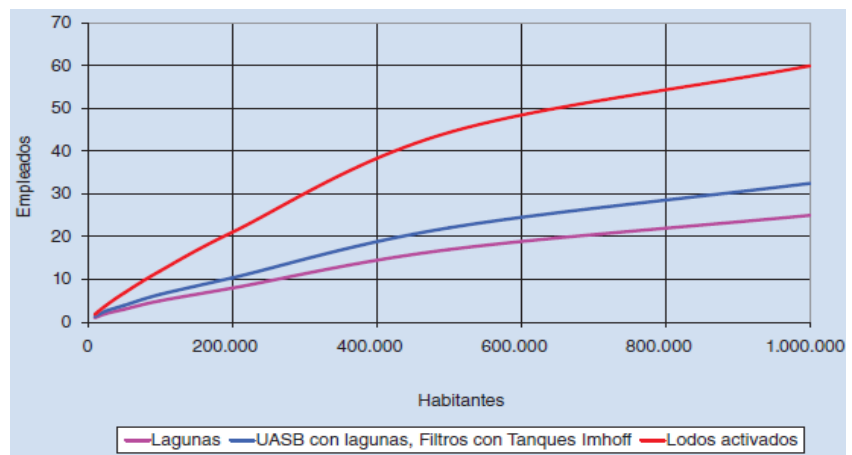
4.3.7.2. Costos del personal

Los costos específicos del personal por año se pueden calcular como:

Costos específicos por año =	numero de empleados * costos por empleado por mes * 12
	habitantes conectados

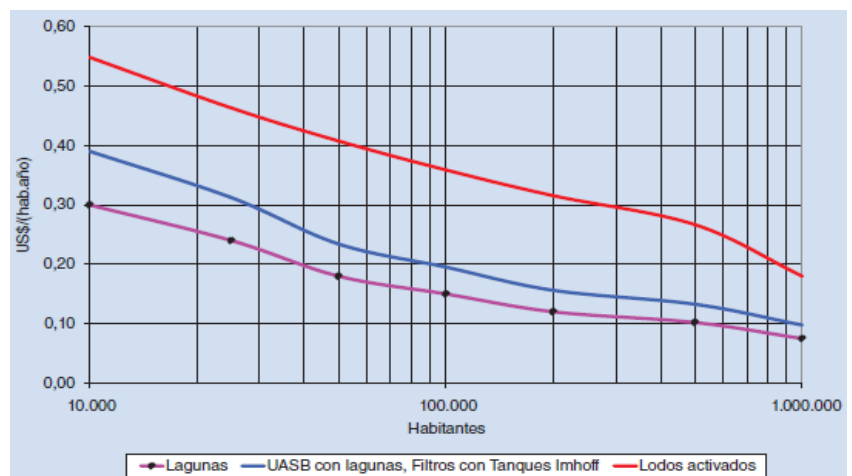
Los costos por empleado varían mucho por cargo, por la región y por el tamaño de la planta. Los gráficos N°13 y N°14 muestran una comparación entre el número del personal y los costos específicos para los diferentes sistemas. Los costos específicos para valores promedio (número de los empleados), costos por empleado con un sueldo mensual de 250US\$/ mes aproximado (Wolfgang, 2010).

Grafico N°12. Los diferentes sistemas en comparacion (n° de empleados necesarios)



Fuente: (Wolfgang, 2010)

Grafico N°13. Comparación costos específicos del personal



Fuente: (Wolfgang, 2010)

El personal para plantas con precipitación (adición de iones de hierro o aluminio) y para una desinfección separada (Cloración, Ozono, UV) aumentara en 1 empleado. En caso de la existencia de una estación de bombeo para elevar el agua a la planta no se necesita incrementar número de empleados.

4.3.7.3. Costo de energía

Los costos de energía necesaria para el funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual, se pueden calcular como el producto de la cantidad de energía consumida multiplicada por los costos específicos (US\$/kWh). El primer factor depende del tipo de planta así como del sitio (altura del bombeo); el segundo, de las tarifas de la ciudad donde se encuentra la planta. En todo caso, es necesario examinar estas tarifas en las plantas grandes, especialmente si es posible instalar un generador de gas para disminuir estos costos (producir energía eléctrica con gas natural o gas de digestión).

En caso de que sea necesario elevar el agua a la planta, los costos dependen especialmente de la altura a elevar y del caudal. De necesitarse elementos de consumo de energía e instalación de una iluminación o de tamices con autolimpieza y desarenadores con bombas o rascadores, existe un consumo adicional de energía. Este consumo se puede estimar con los valores de la tabla N°26.

Tabla N°26. Consumo de energía de iluminación y pretratamiento

	kWh/(hab. • año)
Iluminación	0,04
Tamices	0,08
Desarenadores (con rascadores o bombas)	0,25

Fuente: (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein- Westfalen, 1999) (Wolfgang, 2010)

Significa que de no existir información en detalle es posible calcular adicionando un suplementario de 0,4kWh/(hab.·año) para el consumo de energía.

- Consumo de energía para la operación de filtros percoladores

El consumo de energía de filtros percoladores se compone de la energía para elevar el agua sobre el filtro y la energía para la recirculación, en caso que sea necesaria (agua con alta concentración de DBO). En caso de que sea posible enviar el agua en flujo libre sobre los filtros, no es necesario calcular costos del primer tipo. Los costos para elevar el agua, al igual que para la recirculación se pueden estimar sabiendo la altura. Es necesario considerar las pérdida del distribuidor (0,5 – 1m) y de las tuberías (0,5 – 1m) (Wolfgang, 2010).

- Consumo de energía para la operación de lagunas con aireación

Considerando lagunas facultativas con un tiempo de detención de 7 días, se habla de una potencia necesaria de más o menos 4 W/m³ (Rolim Mendoza, 2000 y Romero Rojas, 2005); calculando con un caudal por habitante de 0,15m³/(hab.·d), esto significa un volumen de la laguna por habitante de 1,05m³; calculando con una potencia de 4W/m³ significa un consumo de energía de 37kWh/(hab.·año). Las lagunas con mezcla completa tienen un consumo de energía que es 5 veces más grande y por ello no son recomendables (Wolfgang, 2010).

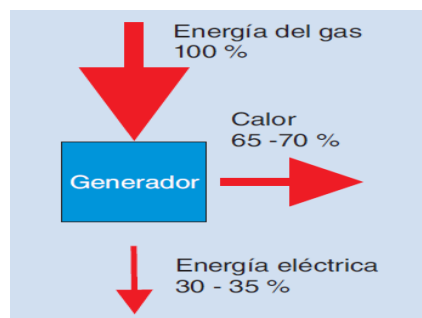
- Balance de energía en caso de la instalación de reactores anaeróbicos

Un reactor anaeróbico (UASB) no necesita casi nada de energía. No obstante, puede existir un consumo para enviar el agua hacia el reactor, pero el mismo depende de los niveles y de la topografía. Las pérdidas de carga (presión) en el reactor son normalmente menos de 20cm, lo cual significa un consumo de menos de 0,5kWh/(hab.·año).

Sin embargo, es posible usar el gas de digestión para producir energía. Un balance de la energía para generadores se muestra en la figura N°34. Es posible transferir 30 hasta 35% de la energía del gas en energía eléctrica.

Lettinga, Velsen, Hobma, Zeeuw, Klapwijk realizaron el cálculo con una eficiencia de 30% con respecto a la producción de electricidad, resultando que el potencial para la producción de energía, a través de un reactor de este tipo, es suficiente para satisfacer la demanda de energía de las plantas con reactores anaeróbicos. En el caso de grandes plantas, vender energía es también una posibilidad. No obstante, hay que considerar que la instalación y la operación de un generador también están vinculadas a costos particulares. Según (Wolfgang, 2010) las consideraciones muestran, que la producción de energía con el gas puede ser rentable.

Figura N°34. Concepto para producir energía



Fuente: (Wolfgang, 2010)

- Consumo de energía para la operación de plantas en base a lodos activados

Hay diferentes tipos de sistemas en base a lodos activados, es preciso diferenciar entre las metas del tratamiento. En estas plantas, la energía es necesaria para la introducción de oxígeno en el tanque de aireación, mezcla en el tanque de aireación, recirculación y transporte del lodo activado del tanque de sedimentación al tanque de aireación o al digestor y para el movimiento de los rascadores dentro del tanque de sedimentación.

Aproximadamente, un 80% de la energía se necesita para introducir oxígeno en el tanque de aireación. El consumo de energía depende también de la eficiencia del sistema de aireación, una eficiencia de 1,5kg O₂/kWh (Wolfgang, 2010) es un valor promedio para sistemas comunes (para agua residual). El consumo de energía aumenta con la temperatura del agua (debido a la actividad de las bacterias y la solubilidad de oxígeno en el agua). En el caso de instalación de un sedimentador primario (puede ser un tanque Imhoff), se puede disminuir bastante el consumo de energía (más o menos 30 hasta 35%). En caso de la existencia de digestores separados para el lodo, hay una producción de gas (proceso anaeróbico) y, con la instalación de generadores, se puede utilizar el gas para producir energía así como disminuir significativamente los costos destinados a la energía.

Se deben tener consideraciones con respecto a la potencia eléctrica necesaria para la aireación en dependencia de la altura. Muchas localidades urbanizadas en Huancayo tienen una altura de 3.000m o más sobre el nivel del mar. Por esto es necesario investigar que

influencia tiene dicha altura en los costos de energía para plantas de tratamiento que trabajan con aireación (lodos activados, lagunas aireadas, etc.).

- Consumo de energía para la operación de plantas con biodiscos

Según romero rojas en su libro “tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño”, el consumo de energía de los biodiscos, se puede estimar con el valor de $0,6W/m^2$ (m^2 = área superficial de los discos). Para el diseño existe el reglamento técnico. La construcción depende del tipo y material de los discos. Para el diseño se puede calcular con una carga superficial de $30g\ DBO/(m^2 \cdot d)$, las reglas en Alemania proponen un valor de $10g\ DBO/(m^2 \cdot d)$. Para conseguir un efluente de la DBO de $80mg/l$ se considera suficiente trabajar con un valor de $20g\ DBO/(m^2 \cdot d)$. Wagner manifiesta el 2001 que este valor se aplica para temperaturas de $12^\circ C$.; en caso de que estas sean mayores es posible aumentar las cargas superficiales. Esto implica la necesidad de un área superficial de los discos de $2,3m^2/hab$. La energía anual por habitante sería $12KWh/(hab \cdot año)$. (Wolfgang, 2010) En caso de nitrificación, se necesitará el doble de la energía.

4.3.7.4. Costos para eliminación de desechos de las plantas

Hay tres tipos de desechos en las plantas: cribado, arena y lodos. Las cantidades de estos desechos se pueden estimar dependiendo de distintos factores de cada planta. El autor (Wolfgang, 2010) estima valores que pueden ser usados para cálculos posteriores.

Los costos para la eliminación de los desechos, se pueden diferenciar entre costos para el transporte del lodo y costos para el depósito final. En caso de que los desechos puedan ser depositados muy cerca de la planta, no se consideran costos de transporte. Se puede analizar, y estimar costos específicos para la eliminación de lodos. Los sistemas con reactores anaeróbicos (Lagunas anaeróbicas, UASB, RALF) tienen costos más bajos (Wolfgang, 2010).

Tabla N°27. Costos para eliminación del lodo

	Masa del lodo kg SS/ (hab.·año)	Concentra- ción % SS	Peso especí- fico de los sólidos del lodo kg SS/l	Volumen l lodo/(hab.año)	Costos US\$/ (hab.·año)
Lagunas	4,1	20	1,5	13,7	0,10
UASB, RALF	5,5	25	1,5	14,7	0,10
Filtros percoladores	11	25	1,5	30	0,21
Lodos activados	15	25	1,5	40	0,28

Fuente: (Wolfgang, 2010)

4.3.7.5. Costos para análisis de muestras

En el libro “recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia” en la página N°84 se aprecian precios indicados por la empresa SAGUAPAC en Bolivia, que pueden ser usados en cálculos de pre diseño. Según SAGUAPAC el 70% de los costos para análisis de laboratorio, se destinan a reactivos y equipo. SAGUAPAC, 2009 BOLIVIA. (Wolfgang, 2010)

4.3.7.6. Costos de seguridad del personal, reactivos y otros

En este apartado, se describen costos de agua potable, ropa de trabajo, herramientas, combustible, seguros, revisión médica, vehículos y otros similares.

- Reactivos para una precipitación

Según Andy Shilton el 2005, en caso de una precipitación se necesitarán reactivos químicos (sales de hierro o aluminio). En lagunas se puede eliminar del 20 hasta el 50% del fósforo por otras reacciones que se producen dentro de las lagunas. El precipitante más económico es Sulfato de aluminio con 17% aluminio. En caso de una precipitación en lagunas, en combinación con una remoción alta de fósforo por vía natural, se puede estimar costos de 1,5 hasta 2,6 US\$/ (hab. • año) (Wolfgang, 2010)

- Costos de cloro (en caso de una desinfección separada)

En caso de instalar una unidad de desinfección, es posible usar cloro para la desinfección, que es la solución más económica. En caso de empresas más pequeñas, el precio puede incrementarse (La razón radica en la diferencia del consumo). Estos costos no contienen los costos adicionales de una decloración que puede ser necesaria. La concentración necesaria para desinfectar el efluente de una planta tiene un rango de 5 hasta 10mg Cl/l, dependiendo de las características del agua (Metcalf & Eddy, 1995).

4.3.7.7. Costos de mantenimiento

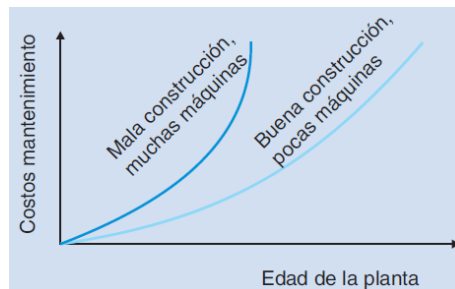
Los costos de mantenimiento varían mucho de planta a planta, así sean del mismo tipo y dependen de:

- Costos de la inversión
- Calidad de las obras (hormigón, etc.), diques, válvulas, tuberías, etc. e instalaciones (acero inoxidable)

- Parte de los costos de inversión para las bombas, instalaciones eléctricas, etc.
- Antigüedad de la planta
- Grado de tecnificación

Los gastos de mantenimiento aumentan con la antigüedad, y dependen de la calidad del mantenimiento, de las construcciones y de las máquinas instaladas.

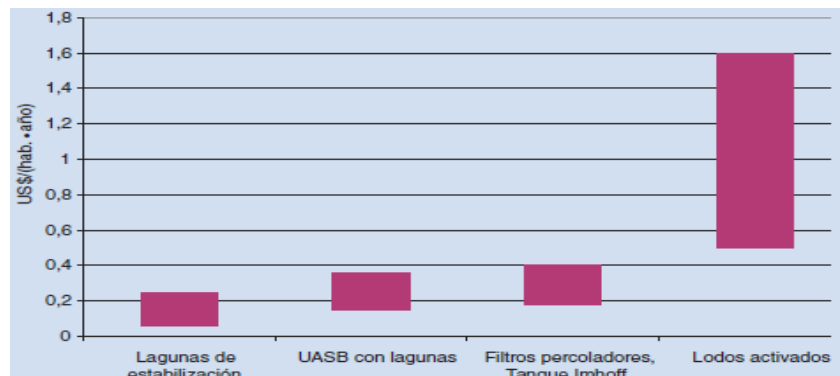
Grafico N°14. Costos de mantenimiento



Fuente: (Wolfgang, 2010)

Según Yañez Cossio en 1993 los costos anuales de mantenimiento son distintos para cada sistema. (Wolfgang, 2010). A continuación el grafico N°15 compara los diferentes sistemas.

Grafico N°15. Costos de mantenimiento de los diferentes sistemas



Fuente: (Wolfgang, 2010).

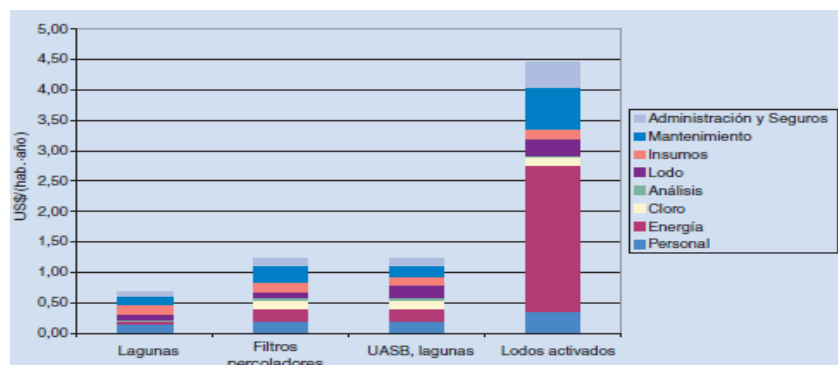
4.3.7.8. Comparación de costos

El grafico N°16 y tabla N°28 muestran costos de operación para plantas de 100.000 habitantes. Para toda planta se debe considerar un rango abierto y amplio respecto a los

costos dependientes del diseño y de las condiciones especiales del sitio. Esto significa que los valores son solamente referenciales, elaborados para una comparación y que permiten estimar los costos de inversión y de operación también para otras condiciones y tamaños de plantas.

Los costos son en la suposición que no existe una producción de energía con el gas de reactor UASB ni de gas en una planta con lodos activados (con digestores anaeróbicos). Para los costos promedio del personal, se calcula con 250 US\$/(empleado•mes) y para la energía con 0,10 US\$/kWh; para los costos de eliminación del lodo (transporte y depósito), se realiza el cálculo con 7 US\$/m³ (Wolfgang, 2010).

Grafico N°16. Costos de operación en diferentes sistemas (plantas de 100000 hab)



Fuente: (Wolfgang, 2010)

Tabla N°28. Costos de operación en diferentes sistemas, para una planta de 100000 hab (US\$/(hab.*año))

	Lagunas	Filtros	UASB, lagunas	Lodos activados
Personal	0,15	0,20	0,20	0,35
Energía	0,04	0,20	0,20	2,40
Cloro	0,00	0,15	0,15	0,15
Análisis	0,03	0,03	0,03	0,03
Lodo	0,10	0,10	0,21	0,28
Insumos	0,15	0,15	0,15	0,15
Mantenimiento	0,15	0,29	0,18	0,70
Administración, Seguros	0,06	0,11	0,11	0,41
Suma	0,67	1,23	1,22	4,46

Fuente: (Wolfgang, 2010)

4.3.8. Valores presentes

Con los costos de operación y los costos de inversión es posible calcular valores presentes. El tiempo de consideración es de 30 años, el tiempo para reinversiones (máquinas, dispositivos etc) 15 años. Se calcula con una tasa de interés real de 12,6% (usual en Perú). Esto significará un factor de descuento para costos anuales de 7,71 (30 años) y para las reinversiones después de 15 años un descuento de 0,1686. Es posible verificar que las reinversiones y los costos de operación se convierten en menos significativos, considerando los valores presentes.

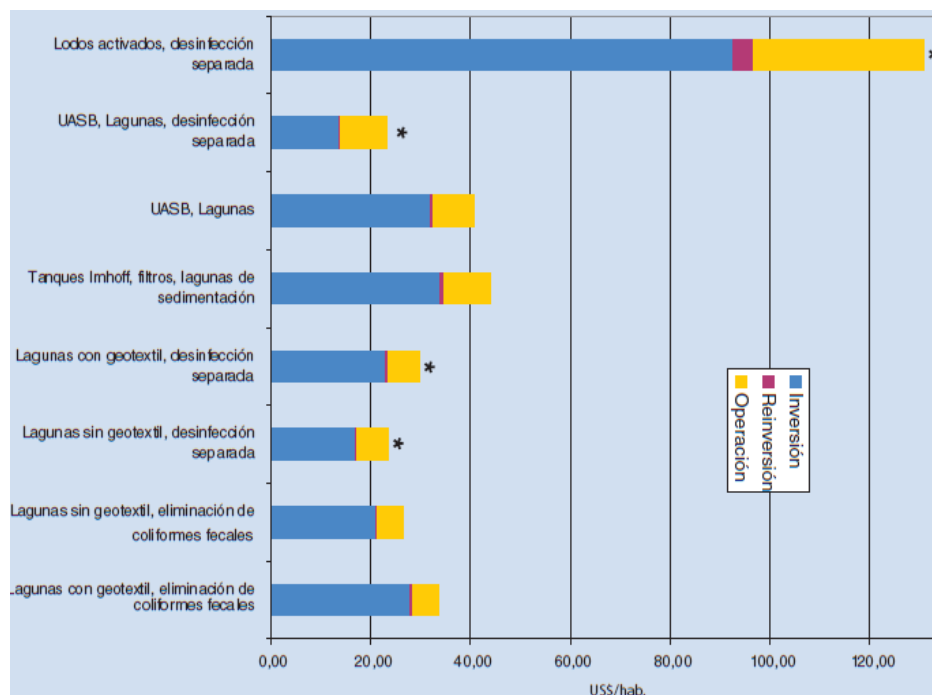
El gráfico N°17 muestra los valores presentes para los diferentes tipos de PTAR, en los cuales se puede evidenciar que los costos son mayores para el tipo de planta con los lodos activados. Los sistemas más económicos son las lagunas que no tienen la necesidad de un geotextil (impermeabilización) y que cuentan con una desinfección separada. No siempre es necesario clarar el efluente, también se puede lograr una remoción de los gérmenes y huevos de helmintos con lagunas de maduración. Se estiman más o menos los mismos costos para tipos de plantas con reactores UASB, con lagunas pequeñas y una desinfección separada.

Tabla N°29. Valores presentes (US\$/ hab.) para los diferentes tipos de plantas

	Inversión US\$/hab.	Reinversión US\$/hab.	Operación US\$/hab.	Valor presente Total US\$/hab.
Lagunas con geotextil, eliminación de coliformes fecales	27,87	0,47	5,17	33,51
Lagunas sin geotextil, eliminación de coliformes fecales	20,95	0,35	5,17	26,47
Lagunas sin geotextil, desinfección separada	16,90	0,31	6,32	23,54
Lagunas con geotextil, desinfección separada	23,02	0,43	6,32	29,77
Tanques Imhoff, filtros, lagunas de sedimentación	33,75	0,85	9,48	44,09
UASB, lagunas eliminación de coliformes	31,89	0,65	8,25	40,78
UASB, lagunas, desinfección separada	13,58	0,30	9,41	23,28
Lodos activados, desinfección separada	92,65	3,91	34,39	130,94

Fuente: (Wolfgang, 2010)

Grafico N°17. Valores presentes (US\$/ hab.) para los diferentes tipos de plantas



* En caso de una cloración separada se tiene que operar de forma que no permanezca cloro residual en el efluente o prever una dechloración, que cause costos adicionales.

Fuente: (Wolfgang, 2010)

4.3.9. Medidas para mitigación de olores y ruidos

4.3.9.1. Olores

Según Yañez en 1993 la mejor medida para evitar las molestias ocasionadas por olores es instalar la planta lejos de las viviendas. La instalación de lagunas anaeróbicas (AT), deber ser mínimo a 1.000m de distancia de las viviendas. Otra posibilidad es también cubrir las lagunas (Wolfgang, 2010). En el caso de la instalación de otro tipo de plantas, se debe construirlas a una distancia de por lo menos 300m; y en el caso de plantas con más de 30.000 habitantes, la distancia sera de más de 500m. (Metcalf & Eddy, 1995).

Las fuentes de olor en áreas muy pequeñas (rejas, caídas, desarenadores) se pueden instalar dentro de edificaciones

para disminuir afuera la influencia de los olores. Adicionalmente se debería instalar de biofiltro.

4.3.9.2. Ruidos

El ruido especialmente proviene de las máquinas. Si se mantiene distancias como las descritas para evitar la influencia de olores, el ruido tampoco constituye un problema para las personas. En el sistema de lodos activados el ruido que se puede esperar en proximidades del cerco. Este ruido aumenta con el tamaño de la planta. En función de la distancia el ruido de una planta (lodos activados) disminuirá, Las plantas con lagunas de estabilización o con reactores anaeróbicos, o con filtros percoladores, casi no producen ningún ruido.

4.4. Evaluación de las PTAR

Es un resumen de la cobertura del servicio de tratamiento de aguas residuales. Se recoge el estado actual de las PTAR en cuanto a su infraestructura, eficiencia de tratamiento, operación y mantenimiento. En la etapa inicial, se recolectó información de la infraestructura, operación, mantenimiento y eficiencia del tratamiento. En la segunda etapa, se efectuaron visitas de campo que se realizaron con la participación del personal operativo. Se presenta estadísticas de las diferentes tecnologías de tratamiento en las PTAR (Parámetros claves y datos relevantes).

4.4.1. Cobertura del tratamiento de aguas residuales

4.4.1.1. Servicio de agua potable y alcantarillado

La ciudad de Huancayo utiliza los recursos hídricos superficiales provenientes del río Shullcas, manantiales y

los recursos hídricos subterráneos de la zona. El río Shullcas representa la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano de la ciudad, su caudal promedio en épocas de avenida alcanza los 5 m³/s y en estiaje su caudal baja hasta 1.5 m³/s.

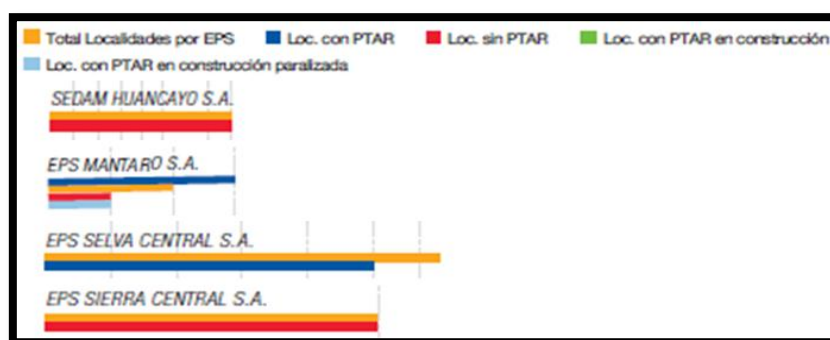
El sistema de alcantarillado sanitario funciona por gravedad. El catastro técnico está inconcluso y desactualizado. Las descargas de los desagües domésticos se dirijan libremente a los Ríos Shullcas, Chilca, Florido, Ancalá y finalmente al Río Mantaro. Estas descargas no cuentan con tratamiento previo, y en algunos casos son usadas para el riego agrícola.

La ciudad de Huancayo cuenta con un sistema de drenaje pluvial que principalmente se encuentra instalada en la zona centro de la ciudad y en calles y avenidas principales que han sido pavimentadas en los últimos años, esta situación ha disminuido parcialmente el problema del ingreso de aguas ilícitas al alcantarillado sanitario durante los periodos de lluvia, sin embargo los aniegos que se producen luego de una lluvia prolongada aún persisten. (SEDAM Huancayo, 2014)

4.4.1.2. Localidades con tratamiento de aguas residuales en las EPS

En la actualidad, de las 253 localidades del ámbito de las EPS en Perú, Huancayo no cuenta con tratamiento de aguas residuales (grafico N°18)

Grafico N°18. Número de localidades del ámbito de las EPS



Fuente: (SUNASS, 2015)(modificada)

4.4.1.3. Localidades sin tratamiento de aguas residuales

Se ha identificado, las cuatro localidades más grandes que no cuentan con PTAR, donde figura SEDAM HUANCAYO SAC en el numero 1.

Tabla N°30. Principales localidades sin tratamiento de aguas residuales

N.º	LOCALIDAD, EPS	CAUDAL VERTIDO AL ALCANTARILLADO EN L/s
1	HUANCAYO, SEDAM HUANCAYO S.A.C.	384
2	HUÁNUCO, SEDA HUÁNUCO S.A. ¹⁾	251
3	SULLANA, EPS GRAU S.A.	200
4	CAJAMARCA, SEDACAJ S.A.	192

Fuente: (SUNASS, 2015)

Tabla N°31. Habitantes con servicio de alcantarillado y caudal vertido (2013)

	HABITANTES CON SERVICIO DE ALCANTARILLADO	CAUDAL VOLCADO AL ALCANTARILLADO ¹⁾
	HABITANTES	m ³ /d
LOCALIDADES SIN PTAR	1.888.000	298.000
LOCALIDADES CON PTAR	14.083.000	2.293.000
TOTAL	15.972.000	2.591.000

Fuente: (SUNASS, 2015)

Huancayo vertio 384 L/s que acumulado con otras 88 EPS vertieron en el 2013 un total de 298.000 metros cúbicos por día al medio ambiente sin ningún tratamiento (SUNASS, 2015).

4.4.1.4. Distribución de ptar en las EPS

Existen 204 PTAR construidas y en construcción en el ámbito de las EPS en Peru (SUNASS, 2015). En el departamento de junin se comprobo que (tabla N°32) 2 EPS no cuentan con PTAR en funcionamiento ni en construcción en su área de servicio, 1 EPS cuenta con PTAR en construcción, pero no en funcionamiento, y 2 EPS cuentan por lo menos con una PTAR en funcionamiento. De las 7 PTAR construidas:

- 5 PTAR son operadas por las EPS
- 1 PTAR están en proceso de construccion.
- 1 PTAR se encuentran fuera de operación paralizada (conflictos en la línea del emisor, entre otras razones)

Las EPS con mayor número de PTAR se ubican en lima donde se concentra el 63% del total de PTAR. La tabla N°33 muestra el número de PTAR según la zona del país donde se ubican, donde vemos un bajo numero de PTAR en toda la sierra.

Tabla N°32. Ptar de ambito de servicio de las EPS (Julio 2014)

EPS	N.º DE PTAR		
	EXISTENTES		EN CONSTRUCCIÓN
	EN FUNCIONAMIENTO (EPS O EN TRANSFERENCIA)	PARALIZADA	
EPS SELVA CENTRAL S.A.	3	1	-
EPS SIERRA CENTRAL S.R.L.	-	-	-
EPS MANTARO S.A.	2	-	1
SEDAM HUANCAYO S.A.C	-	-	-

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

Tabla N°33. Distribucion de Ptar según Zonas del pais.

ZONA	EPS	N.º DE PTAR
COSTA NORTE	ATUSA / EPS GRAU S.A. / EPSEL S.A. / SEDALIB S.A. / SEDACHIMBOTE S.A.	87
COSTA CENTRAL	SEDAPAL / EMAPA BARRANCA S.A.	23
COSTA SUR 1	EMAPA CAÑETE S.A. / SEMAPACH S.A. / EMAPICA S.A. / EMAPISCO S.A. / EMAPAVIGS S.A.C.	15
COSTA SUR 2	EPS MOQUEGUA S.A. / EPS ILO S.A. / EPS TACNA S.A. / SEDAPAR S.A.	14
SELVA NORTE	SEDALORETO S.A. / EPS MARAÑÓN S.R.L. / EPS SAN MARTÍN S.A. / EMAPACOP S.A.	6
SELVA CENTRAL	SEDA HUÁNUCO S.A. / EPS SELVA CENTRAL S.A.	6
SIERRA CENTRAL	EPS MANTARO S.A.	2
SIERRA SUR	EPSASA / SEDACUSCO S.A. / EMPSSAPAL S.A. / EMAQ S.R.L.	4
ALTIPLANO	EPS NOR PUNO S.A. / EMSAPUNO S.A. / SEDA JULIACA S.A. / EMAPA Y S.R.L. / EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L.	6

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

4.4.1.5. Capacidad y evaluación de tratamiento instalada

Sunass cuenta con un registro de la capacidad de tratamiento en función del caudal de diseño de las PTAR, mientras que la información sobre la carga orgánica (DBO5 en kg/d) del diseño es escasa. Esta es la información de la capacidad hidráulica instalada en función de los caudales reportados y de la carga orgánica que se trata en las PTAR, considerando los lineamientos de diseño de la norma OS.090.

Grafico N°19. Capacidad hidráulica por EPS en JUNIN (l/s)



Fuente: (SUNASS, 2015)

A continuación se muestra la capacidad de tratamiento de la carga orgánica de las PTAR en la región JUNIN, considerando la norma OS.090 (SUNASS, 2015).

Grafico N°20. Capacidad de tratamiento de la carga orgánica de las PTAR



Fuente: (SUNASS, 2015)

A pesar de que las EPS reportaron estar en el proceso de implementación de los VMA en cumplimiento del Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA (SUNASS, 2015), aún no cuentan con un registro de las descargas industriales vertidas al alcantarillado que permita evaluar el aporte de la carga orgánica por las descargas industriales.

4.4.1.6. Ptar que no están en funcionamiento

No se encontraron PTAR que no se encuentren en funcionamiento ni algún registro o información respecto al tema.

4.4.1.7. Ptar con construcción paralizada

EPS MANTARO reporto en estado de construcción paralizada por más de un año la PTAR de Chupaca, lugar donde no se brindó más información.

Tabla N°34. Obras de PTAR paralizadas (hasta 2014)

RAZÓN DE LA PARALIZACIÓN	PTAR	CARGA ORGÁNICA ¹⁾ en hab-equiv/d
PROBLEMAS DE FINANCIAMIENTO	CHUPACA (JUNÍN) AGUAS DEL ALTIPLANO (AYAVIRI)	SIN INFORMACIÓN 8800

Fuente: (SUNASS, 2015)(Modificado)

4.4.1.8. Oferta y demanda de tratamiento

La demanda insatisfecha de la capacidad de tratamiento de aguas residuales municipales es un problema, así como las ciudades donde no existen PTAR como Huancayo y requieren la ejecución de nuevos proyectos. Sin embargo las categorías de ampliación y rehabilitación, y nuevas PTAR reciben el menor puntaje en la evaluación para acceder a las fuentes de financiamiento público de acuerdo con la Resolución Ministerial N.º 270-2014-VIVIENDA. (MVCS, 2006)

Tabla N°35. Comparación de la capacidad hidraulica y de la capacidad de tratamiento de la carga organica en las PTAR.

	CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS PTAR		CAUDAL VERTIDO AL ALCANTARILLADO ⁽¹⁾	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LA CARGA ORGANICA	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO SEGÚN EL DISEÑO DEL EMISOR	POBLACIÓN CON SERVICIO DE ALCANTARILLADO
	SEGÚN EL CAUDAL DE DISEÑO REPORTADO POR LAS EPS	CONSIDERANDO LA NECESIDAD DE > 20 DÍAS DE RETENCIÓN EN PTAR DE LAGUNAS SIN DESINFECCIÓN				
	L/s	L/s				
TABOADA	14.000	14.000	9920	-	12.100.000	8.556.000+ X ⁽²⁾
SEDAPAL SIN LA PTAR TABOADA	5070	5050 ⁽²⁾	7220	2.516.000	-	8.556.000+ X ⁽²⁾
RESTO DEL PAÍS	10.510	6.620	12.850	3.780.000	-	7.416.000 + X ⁽²⁾
TOTAL (APROX.)	29.600	25.700	30.000	18.400.000	18.400.000	16.000.000 + X ⁽²⁾

Fuente: (SUNASS, 2015)

4.4.2. Tecnologías aplicadas

En la norma OS. 090 se establece la obligación de que cada PTAR cuente con un medidor de caudal del afluente. En Junín solo la Eps Mantaro cuenta con infraestructura de medición del caudal en dos PTAR; y una PTAR con registro de medición. La mayoría de las EPS reportan sus caudales de operación sobre la base de una estimación del consumo del agua potable. No se puede aceptar este tipo de cálculo porque es necesario contar con este valor para la operación y evaluación de los procesos de tratamiento de la PTAR. Ninguna PTAR utiliza el método de medición con limnógrafo, según la norma OS.090. (MVCS, 2006)

Tabla N°36. Medición de caudales del afluente

EPS	N.º PTAR	CAUDAL DEL AFLUENTE		
		PTAR CON INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN	PTAR CON REGISTRO DE MEDICIÓN	ESTIMACIÓN BASADA EN EL REGISTRO DE HORAS DE BOMBEO U OTRAS MEDIDAS
EPS SELVA CENTRAL S.A.	3	0	0	0
EPS MANTARO S.A.	2	2	1	0

Fuente: EPS y (SUNASS, 2015).

4.4.2.1. Tratamiento preliminar

En la tabla N°37 se muestran las unidades de tratamiento preliminar de las PTAR en funcionamiento en el departamento de Junín. Se observa que 3 cuentan con infraestructura para la colocación de reja o criba, de las cuales 3 tienen reja instalada y en buen estado. Ninguna cuenta con desarenador así como tampoco reciben afluente por bombeo.

Tabla N°37. Tratamiento preliminar en la PTAR

EPS	PTAR				
	N.º PTAR	REJA	DESARENADOR	DESARENADOR	AFLUENTE POR BOMBEO
EPS SELVA CENTRAL S.A.	3	1	-	1	-
EPS MANTARO S.A.	2	2	-	2	-

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

4.4.2.2. Tratamiento primario

La tabla N°38 muestra que solo 2 PTAR en Junín cuentan con tratamiento primario, una con tanque Imhoff y otra con sedimentador primario. El Tanque imhoff incorpora en su diseño la estabilización de los lodos sedimentados.

Tabla N°38. Tratamiento primario en las PTAR

EPS	PTAR			
	N.º PTAR	TANQUE SÉPTICO	TANQUE IMHOFF	SEDIMENTADOR PRIMARIO
EPS SELVA CENTRAL S.A.	3	-	1	-
EPS MANTARO S.A.	2	-	-	1

Fuente: (SUNASS, 2015)(Modificado)

4.4.2.3. Tratamiento secundario

Tabla N°39. Tratamiento secundario en las PTAR

EPS	PTAR										
	SIN TRATAMIENTO SECUNDARIO	LAG. ANAEROBIAS + LAG. AIREADAS	LAG. ANAEROBIAS + LAG. FACULTATIVAS	LAG. FACULTATIVAS	LAG. AIREADAS	LODOS ACTIVADOS	FILTROS PERCOLADORES	RAFA + FILTRO PERCOLADOR	RAFA - LECCHO SUMERGIDO AIREADO	RAFA + LAGUNA AIREADA	OTRO
EPS SELVA CENTRAL S.A.	1		2								
EPS MANTARO S.A.				1		1					

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

4.4.2.4. Tratamiento terciario

Ninguna Ptar cuenta con tratamiento terciario.

4.4.2.5. Desinfección

Ninguna PTAR presenta desinfección.

4.4.2.6. Tratamiento de lodos

En la tabla N°40 vemos el proceso utilizado dentro de las PTAR.

Tabla N°40. Tecnologías de tratamiento de lodos

EPS	PTAR								
	DENTRO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	DENTRO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO	DIGESTOR AEROBIO	DIGESTOR ANAEROBIO	ESPESADOR ESTÁTICO	FLOTACIÓN	CENTRIFUGA	LECHO DE SECADO	DENTRO DE LA LAGUNA.
EPS SELVA CENTRAL S.A.	1	2						1	2
EPS MANTARO S.A.		1	1			1		1	1

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

4.4.2.7. Tecnificación de las Ptar

Ninguna PTAR cuentan con equipos electromecánicos en sus procesos de tratamiento de aguas residuales. Los principales equipos electromecánicos y su operatividad (no se consideran equipos de las estaciones de bombeo ni equipos de medición), se muestran en la tabla N°41.

Tabla N°41. Principales equipos electromecánicos en las PTAR

PROCESO DE TRATAMIENTO	TIPO
PRELIMINAR	REJAS AUTOMÁTICAS
	DESARENADOR AUTOMÁTICO (POR CANAL O UNIDAD VÓRTEX)
PRIMARIO	BARREDORES DE SEDIMENTADORES
SECUNDARIO	AIREADORES
	SOPLADORES
	BARREDORES DE SEDIMENTADORES
TRATAMIENTO DE LODOS	ESPEADOR ESTÁTICO
	SOPLADOR
	CENTRÍFUGA

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

4.4.2.8. Características especiales del diseño de una Ptar

- En localidades de la sierra y selva central, las EPS (SUNASS, 2015) reportan variaciones de 200 a 300% del caudal debido a aguas pluviales que ingresan al sistema de alcantarillado de aguas residuales (por falta de sistemas de alcantarillado pluvial); sin un sistema de rebose al ingreso de la PTAR, sus procesos de tratamiento se verían afectados.
- En ninguna PTAR se detectó algún tipo de sistema de rebose de emergencia.
- No se ha observado PTAR con cámaras repartidoras con deficiencias de diseño o construcción.

4.4.3. Diseño y construcción

4.4.3.1. Disposición final de los efluentes

Una PTAR puede tener uno o más tipos de disposición final (SUNASS, 2015). En la región Junín las PTAR en su totalidad vierten a un cuerpo natural de agua y están obligadas a cumplir los LMP y ECA-Agua, dependiendo de la calidad del cuerpo receptor.

4.4.3.2. Infraestructura de las Ptar

- Energía eléctrica: Las PTAR en Junín cuentan con acceso a energía, situación que influye en la selección de tratamientos preliminares con equipos mecánicos y en la posibilidad de efectuar mediciones automáticas del afluente y efluente, de implementar la captación y el quemado del biogás y de adoptar medidas de mejoramiento y ampliación del tratamiento mediante equipos de aireación o mezcla. La implementación de equipos electromecánicos en las PTAR implica la necesidad de vigilancia permanente o que se busquen alternativas para proteger la infraestructura.
- Edificio de operación: Las PTAR en Junín cuentan con personal operativo. La norma OS.090 señala que una PTAR con una capacidad de tratamiento para más de 25.000 habitantes debe contar con infraestructura complementaria.
- Laboratorio de las PTAR: Las PTAR en Junín no cuentan con laboratorio, ni con equipos portátiles para la medición de la temperatura, oxígeno disuelto ni pH. La norma OS.090 señala que cada PTAR debe contar con un laboratorio.

Las observaciones más comunes observadas son:

Tabla N°42. Observaciones frecuentes respecto a la construcción de las PTAR

OBSERVACIONES
EXISTENCIA DE REJAS CON BARRAS HORIZONTALES
EXISTENCIA DE TAMICES DE LIMPIEZA MANUAL
INSUFICIENTE COMPACTACIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE DIQUES
INSUFICIENTE PROTECCIÓN DE LOS DIQUES CONTRA LA EROSIÓN PLUVIAL
DIFÍCIL ACCESO A EQUIPOS DE OPERACIÓN MANUAL, COMO TABIQUES Y REJAS
TECNOLOGÍA INADECUADA (TRATAMIENTO QUÍMICO, FILTRO PERCOLADOR DE ARENA)
DISEÑO DE REACTORES DE TIPO RAFA SIN SEPARADOR DE FASES
OTROS: FALTA DE CONEXIÓN ENTRE DOS LAGUNAS EN SERIE

Fuente: (SUNASS, 2015)

4.4.3.3. Manejo de lodos y residuos

En las PTAR no existen rellenos de seguridad lo que hace imposible el cumplimiento de la normatividad vigente. En la tabla N°43 se muestran los tipos de disposición final de lodos y residuos sólidos más frecuentes en las PTAR.

Tabla N°43. Disposición final de lodos y residuos sólidos más frecuentes en las PTAR

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
QUEMA DE LA MATERIA INFLAMABLE Y ENTIERRO DE LOS DESECHOS
ENTIERRO DE TODOS LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DISPOSICIÓN FINAL EN UN BOTADERO FUERA DE LA PTAR (POR EJEMPLO, EL BOTADERO MUNICIPAL)
ACUMULACIÓN DE LA ARENA DEL DESARENADOR EN EL TERRENO DE LA PTAR
DISPOSICIÓN DE LODOS
ACUMULACIÓN EN EL TERRENO DE LA PTAR
DEPÓSITO O ENTIERRO EN BOTADEROS FUERA DE LA PTAR
ENTREGA DIRECTA A CAMPESINOS

Fuente: (SUNASS, 2015)

Debido a la falta de rellenos para la disposición final de lodos se podría incorporar la implementación de un relleno para los lodos en un área aledaña. Ninguna PTAR en Junín cuenta con información sobre la calidad de los lodos producidos, por lo que no hay evaluación de las posibilidades del uso del lodo en la agricultura u otros. Debido a la falta de información estadística para el Perú,

se puede estimar la calidad nutritiva de los lodos en función de experiencias internacionales y de la OMS (SUNASS, 2015). La OMS señala que el lodo de las PTAR tiene valor económico como fertilizante, mejora el suelo y tiene un valor nutritivo; sin embargo, también puede ser peligroso.

4.4.3.4. Ubicación geográfica

Se encontraron 3 PTAR, 1 de la EPS MANTARO S.A. y 2 de la EPS SELVA CENTRAL S.A., que fueron afectadas por las crecidas de los ríos de la sierra y selva central en época de lluvia. En 2 de ellas, las estructuras de vertimiento fueron erosionadas y en la restante, la tubería del afluente fue destruida por el río (ver Anexo N°21)

4.4.4. Operación y mantenimiento

4.4.4.1. Calidad del tratamiento de las aguas residuales

No existen reportes de monitoreo de parámetros establecidos en los LMP del afluente y efluente. No hay reportes ni registros del parámetro temperatura, a pesar de su gran importancia en la operación y evaluación de los procesos de tratamiento.

Tabla N°44. Cumplimiento de los LMP del efluente de las PTAR

PTAR	T°			PH			DBO ₅			DQO		
	N.º	CUMPLE LOS LMP		N.º	CUMPLE LOS LMP		N.º	CUMPLE LOS LMP		N.º	CUMPLE LOS LMP	
		N.º	%		N.º	%		N.º	%		N.º	%
EPS SELVA CENTRAL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPS MANTARO S. A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

- Calidad de efluente y afluente: No existen muestras analizadas por las EPS ni el número de aquellas que cumplen los LMP como se muestra en la tabla N°45. El parámetro coliformes termotolerantes en Perú según SUNASS presenta mayor dificultad en el cumplimiento de los LMP.

Tabla N°45. Cumplimiento de los LMP del efluente de las PTAR

PTAR	SÓLIDOS SUSPENDIDOS			ACEITES Y GRASAS			COLIFORMES TERM.		
	N.º	CUMPLE LOS LMP		N.º	CUMPLE LOS LMP		N.º	CUMPLE LOS LMP	
		N.º	%		N.º	%		N.º	%
EPS SELVA CENTRAL S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPS MANTARO S. A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (SUNASS, 2015)(Modificado)

- Capacidad utilizada de las PTAR: Las PTAR visitadas presentan sobrecarga orgánica y tienen sobrecarga hidráulica que no les permite cumplir los LMP de coliformes termotolerantes.

4.4.4.2. Organización de operación y mantenimiento

En la EPS MANTARO S.A. con extensas áreas de servicio las acciones de mantenimiento se organizan por zonas. Cada zona aplica un modelo o cuenta con cuadrillas de operadores que rotan y dan mantenimiento a las PTAR operativas.

En una concesión de la operación y mantenimiento de la PTAR los trabajos en la PTAR que contratan con empresas terceras son de vigilancia, mantenimiento de áreas verdes, fumigación, mantenimiento y limpieza exterior de lagunas, extracción del lodo de las lagunas y mantenimiento electromecánico.

El servicio de vigilancia generalmente es efectuado por terceros, dependiendo de la política de cada empresa.

4.4.4.3. Personal de operación y mantenimiento

En la tabla N°46 se muestra que 3 PTAR, cuentan por lo menos con un turno por día hábil de personal operativo. Se encontró una PTAR en la que el operador vive en la PTAR y realiza la operación y vigilancia las 24 horas.

Tabla N°46. Presencia de personal en la PTAR

EPS	N.º DE PTAR CON PERSONAL \geq 1 TURNO/D	N.º DE PTAR CON CARGA HIDRÁULICA DE MÁS DE 100 L/S Y SIN PRESENCIA DIARIA DEL OPERADOR
EPS SELVA CENTRAL S.A.	1	0
EPS MANTARO S. A.	2	0

Fuente: (SUNASS, 2015) (Modificado)

Los operadores están presentes diariamente en las PTAR. Una posible explicación de la diferencia entre lo recomendado y la poca presencia de personal en las PTAR pequeñas es la falta de la medición de caudales y del tratamiento preliminar en muchas de ellas. La implementación del tratamiento preliminar significaría el requerimiento de personal para la limpieza diaria de rejillas y semanal de desarenadores, lo que además permitiría un monitoreo visual frecuente del proceso.

En la tabla N°47 se muestra la dotación de personal de la PTAR de Jauja de tipo lagunas. Esta PTAR se encuentra en las mejores condiciones ya que cuenta con la presencia de dos operadores.

Tabla N°47. Personal operativo diario en EPS Mantaro – Jauja

EPS	PERSONAL OPERATIVO	SUPERFICIE DE LAGUNAS	
JAUJA	2	8,4 ha	4,2 ha/op

Fuente: (SUNASS, 2015)

La mayoría de los operadores de las PTAR tienen nivel de instrucción básico (secundaria), pero no tienen formación técnica. Los operadores reciben capacitación técnica y capacitaciones sobre aspectos de seguridad personal.

Las EPS entregan uniformes de trabajo y equipos de seguridad personal. Los operadores de las PTAR y los jefes de cuadrillas de mantenimiento cuentan con celular para comunicarse con sus gerentes. Por lo menos en 1 EPS, los operadores no cuentan con movilidad de la empresa para realizar sus actividades operativas, por lo que utilizan vehículos privados o taxis.

4.4.4.4. Documentación de las Ptar

Las PTAR no cuentan con suficiente documentación, por lo que se desconocen los detalles de su construcción, tales como dimensiones de los reactores del tratamiento y valores de diseño (caudal, carga orgánica y cantidad de coliformes termotolerantes). En las PTAR con operador se encontraron cuadernos de ocurrencias; las PTAR que no cuentan con operador, no los tienen.

4.4.4.5. Actividades de operación, mantenimiento y monitoreo

- Operación: La figura N°35 resume los indicadores referidos a la operación de las PTAR de tecnología de lagunas de estabilización (sin aireadores).

Figura N°35. Observaciones respecto a operación y mantenimiento

DIQUES CON EROSIÓN, EXCAVACIONES O GRIETAS	PEDAZOS DE GEOMEMBRANA FALTANTE	CORROSIÓN DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS	INADECUADA REPARTICIÓN EN CÁMARAS DE REPARTICIÓN	FALTA DE TAPAS DE BUZONES
--	---------------------------------------	--	---	------------------------------

Fuente: (SUNASS, 2015)

Las lagunas que se encontraron tenían poca maleza en su interior y algunas tenían abundante lodo flotante. Estos problemas son indicadores de que los trabajos de operación y mantenimiento son insuficientes, tanto en frecuencia como en intensidad y no se ven mejoras significativas a futuro.

- Mantenimiento: Las EPS visitadas no reportaron la limpieza de lodos de sus lagunas y utilizan la propia laguna como lecho de secado para retirar el lodo acumulado seco.

- Monitoreo: Ninguna PTAR cumple con el programa propuesto en sus manuales. No existen reportes de supervisión o monitoreo por parte del MVCS.

4.4.5. Costos de las Ptar en tarifa de agua potable

Los costos de operación y mantenimiento de las PTAR sobre el tratamiento de aguas residuales están considerados en las tarifas del servicio de agua potable y alcantarillado que son establecidas por la SUNASS e incorporan los costos de operación y mantenimiento de las PTAR, sobre la base de las proyecciones efectuadas por la EPS en su Plan Maestro Optimizado (SUNASS, 2015). En la tabla N°48 vemos un problema de operación debido a los mayores costos de operación y mantenimiento de las PTAR CONCEPCION.

Tabla N°48. Ptar con problemas por costos elevados

EPS	PTAR	DESCRIPCIÓN
EPS MANTARO S.A.	CONCEPCIÓN	EN ABRIL DE 2014, LA EPS REALIZABA LA AIREACIÓN DE LOS TANQUES DE LODOS ACTIVADOS ENTRE 0,5 Y 4 HORAS POR DÍA, CON LO CUAL EL TRATAMIENTO NO ES EFICIENTE. SEGÚN LA EPS, LOS COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA SON DEMASIADO ALTOS.

Fuente: EPS - (SUNASS, 2015)

4.5. Urbanización Sostenible: Estudio caso “La Planicie de San Carlos”

Al conocer la problemática del agua y el desagüe del Perú, enfatizando de forma puntual, el caso de Huancayo; se ideó conceptos para una mejora del mismo surgiendo el concepto “urbanización sostenible”, hoy en día muy utilizado. Una urbanización sostenible tiene como objetivo generar un entorno sin atender contra el medio ambiente, proporcionando recursos urbanísticos suficientes, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también por su funcionalidad. Esto quiere decir buscar la sostenibilidad medioambiental, económica, y social.

Hacer realidad una urbanización sostenible significa contar con el apoyo del sector económico, captando así la atención del sector inmobiliario ya que no solo genera crecimiento vertical urbano, sino también crecimiento horizontal hacia la creación de focos para nuevas zonas urbanas en distritos en las afueras de Huancayo. Existen diferentes empresas dedicadas a la transformación de predios rurales en habilitaciones urbanas, condominios, clubs, entre otros. Al enfocarnos en esta zona urbana, buscando necesidades del sector privado que involucren el tratamiento de aguas residuales domésticas; entonces la idea es proponer plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en centros de población fija y crear un compromiso de preservar el medio ambiente con el tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas mediante un crecimiento urbano ordenado. Al ofrecer agua tratada como producto final y el uso en el riego de parques y jardines, las inmobiliarias venderían el concepto de urbanizaciones sostenibles agradables para vivir con “jardines verdes siempre” que generen calidad de vida a sus clientes, trayendo como consecuencia un triple resultado de impactos positivos ambientales, económicos y sociales que es lo que se busca.

En esta investigación destaca la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales y colapso del saneamiento en general en Huancayo. El alcantarillado de Huancayo compuesto por más de 28 descargas desemboca libremente a los ríos Shullcas, Chilca, Florido, Ancalá y al río Mantaro, sin tratamiento alguno. Es así como el titular de Vivienda y Construcción, Edmer Trujillo Mori, mostró su preocupación por el Plan Maestro Optimizado de la EPS Sedam Huancayo, donde se detalla las pésimas condiciones del servicio. Y declaró en el diario Correo: “Si ésta situación tenemos en Huancayo, que es la capital de la región Junín, estoy seguro que debemos declarar en emergencia las demás provincias de la Selva Central, Tarma, la zona altoandina y el Valle del Mantaro...”, expresó el legislador (Correo, 2016).

Ante la ausencia de una solución inmediata por medio de la entidad prestadora de servicio (Sedam Huancayo) y municipalidades, una solución inmediata sería la propuesta de “Urbanizaciones sostenibles” mediante la colocación de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales dentro de las urbanizaciones, siendo de esta manera rentable para la empresa privada y beneficiosa para el ambiente y la sociedad huancaína.

4.5.1. Urbanización la Planicie de San Carlos

Actualmente se ha venido desarrollando el proyecto de habilitación urbana residencial bajo el tipo especial con construcción simultánea, con módulos de vivienda unifamiliar y módulos de vivienda multifamiliar dentro de un conjunto habitacional denominado “Planicie de San Carlos”, ubicado en el distrito del Tambo, provincia de Huancayo y departamento de Junín. Este proyecto comprende un total de 22435.00 m² los cuales se distribuyen como se muestra:

Figura N°36. Distribución de Áreas

AREA UTIL TOTAL LOTES RESIDENCIAL:	7,462.26 M2
AREA CEDIDA A VÍAS:	6,888.97 M2
AREA RECREACIÓN CONJ. RESIDENC.:	1,995.34 M2
AREA EDUCACIÓN-OU EDUCACIÓN:	6,088.43 M2
AREA OTROS FINES:	00.00 M2
AREA PARQUE ZONAL:	00.00 M2
AREA TOTAL A HABILITAR:	22,435.00 M2

Fuente: Urbanización La Planicie – San Carlos

Este proyecto viene a ser un punto favorable en esta investigación para poder aplicar una propuesta y transformarlo así en Urbanización Sostenible, debido a que en este proyecto se venden lotes así como casas y departamentos construidos. Al construir la planta de tratamiento en el caso de proyecto con construcciones ya establecidas antes de la habitabilidad se dará mayor rango de rapidez de tiempo de operatividad a la planta de tratamiento de aguas residuales. Es importante conocer porqué se quiere una urbanización sostenible en esta zona. Esta pregunta tiene varias respuestas, entre las cuales se tienen:

- Esta zona del distrito del Tambo no cuenta con un saneamiento adecuado.
- Se desea contribuir al paisaje urbano olvidado en Huancayo.
- El agua tratada regara los jardines de la propia urbanización y se tendrá reservas para ser reutilizadas.
- Será un proyecto pionero de sostenibilidad en un proyecto de habilitación urbana residencial con construcción simultánea, dentro de un conjunto habitacional complejo en Huancayo.

Es necesario tener en consideración el aspecto social para el inversionista. En la actualidad en Huancayo y todo el Perú el concepto de plantas de tratamiento de aguas residuales es un tema sensible socialmente debido a que nadie desea vivir cerca de ellas. La tecnología que se elegirá buscará la mayor eficiencia

posible para no afectar a los usuarios, es por ello que se buscara colocar la planta de tratamiento en un lugar estratégico y resguardado de un cerco vivo, rodeado de plantas dependiendo de la tecnología a usar. En el proyecto el punto más bajo se encuentra hacia la Av. El Malecón, la avenida principal, en este caso para poder ingresar dejaremos de lado el tema estético (se puede dar un mejor aspecto a la PTAR) y se mantendrá la planta de ese lado, en el punto más bajo. Esto nos favorecerá también a la hora de eliminar el efluente de la planta, puede servir como riego para las orillas colindantes del río Shullcas, que nos brindaran un mejor paisaje y valoración del futuro usuario. La planta de tratamiento estará ubicada a la entrada exactamente al costado del Colegio Zarate sede San Carlos, donde estará recubierto de plantas que servirán hacerlo más compatible con el paisaje que buscamos lograr.

La forma de reutilización que se empleará será principalmente para el riego de jardines, debido a la temática de tener en todo momento áreas verdes, generar una pequeña urbe que demuestre mejora en la calidad de vida de las personas y tener el concepto de mejora en la zona para poder hacer vendible los lotes, casas y departamentos de la inmobiliaria.

4.5.2. Selección de PTAR

La selección de las tecnologías es una tarea complicada para los responsables al tener que tomar una decisión adecuada en función de las necesidades de la organización y de su entorno, muchas veces con base en argumentos que tienen sesgos comerciales no totalmente veraces. En este contexto, es necesario apoyar la toma de decisiones con herramientas con base en conocimientos generales sobre el proyecto y los procesos de tratamientos involucrados en las ofertas. La técnica

de evaluación propuesta en esta tesis escogerá la mejor propuesta desde el punto de vista técnico basada en la recopilación de datos, análisis documental, esquema/ algoritmo y una matriz de decisión. Esta técnica permitirá que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva para todos los involucrados, como de igual manera será la decisión tomada a través de la matriz.

Para comenzar, el reúso de aguas residuales tratadas necesita las solicitudes de autorización que son evaluadas tomando en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud. En este caso se buscara cumplir los valores y límites mencionados.

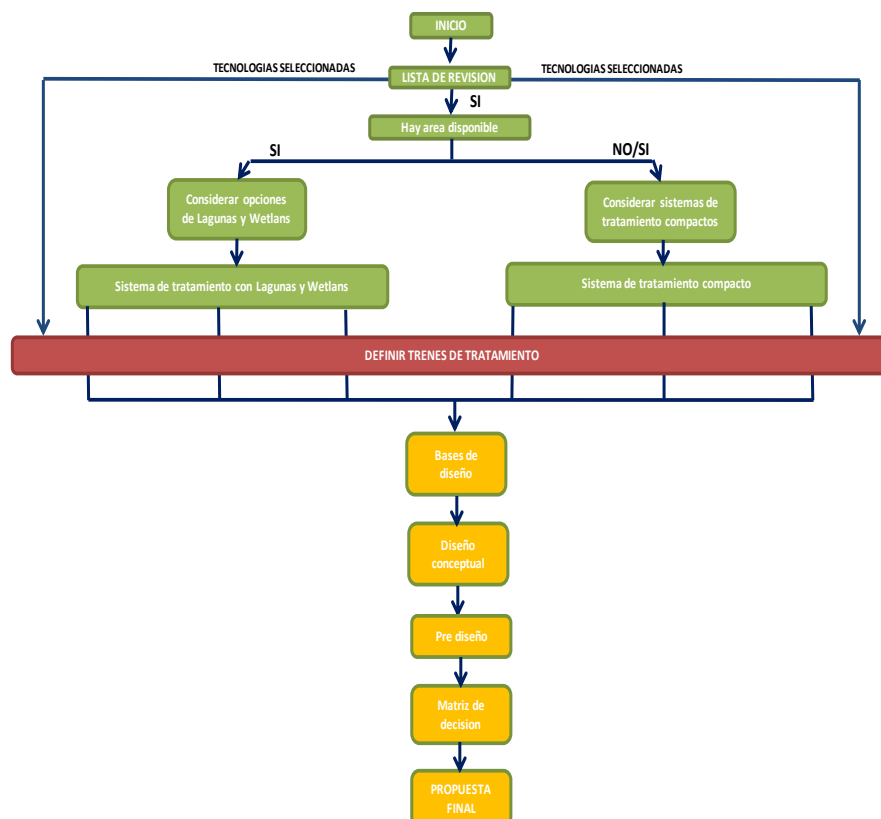
Utilizando el Anexo N°04 se decidirá el tipo y la etapa de tratamiento a usar. Sabiendo que el reúso del efluente es para riego, debemos hacer una etapa mínima de tratamiento II, sin embargo al proponer una alternativa sostenible involucra una etapa de tratamiento III. Se tendrán entonces varias opciones adecuadas para este caso. Las tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales que se elegirán deberán generar bienestar respecto a la percepción social al estar ubicada la planta de tratamiento muy cerca de la urbanización “Planicie de San Carlos” y el colegio Zarate.

4.5.3. Esquema / Algoritmo

En esta investigación se presenta un esquema/algoritmo (figura N°37) en forma de diagrama de bloques basada en la experiencia de autores (Metcalf & Eddy, 1995), (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.), (Wolfgang, 2010), etc. tomando como

referencia tecnologías más empleadas en América Latina, el Caribe, Bolivia y Perú. El instrumento guiara la toma de decisiones en la selección de tecnologías enfocadas en el tratamiento de aguas residuales residenciales, ello considerando los conceptos abordados anteriormente.

Figura N°37. Esquema / Algoritmo



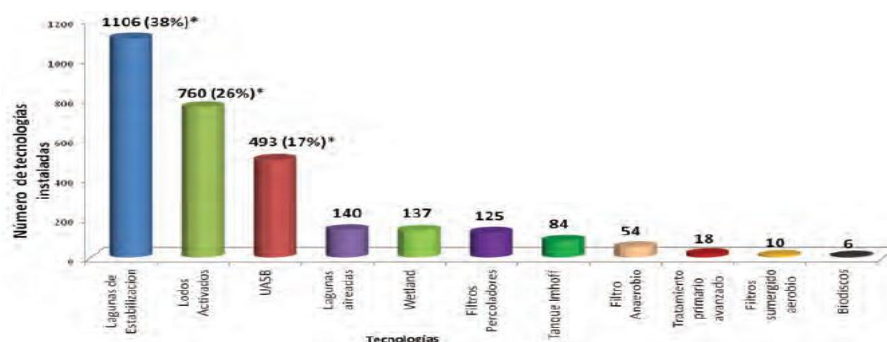
Fuente: Elaboración Propia

La oferta tecnológica de tratamiento de aguas residuales es amplia sin embargo al analizar cualquier tipo de sistema de tratamiento se determina que el número de tecnologías existentes es finito. En función de las condiciones de esta investigación y restringiendo al tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, el uso frecuente de tecnologías e integración en trenes de tratamiento se reduce a menos de ocho. Sin embargo se buscara comparar el mayor número de tecnologías que puedan cumplir con normatividad vigente,

minimizar los costos operativos, minimizar la generación de lodos, ser apropiadas para el nivel técnico y administrativo de Huancayo y ser sostenibles. Se tendrá entonces las tecnologías de lodos activados (1), filtro percolador (2), biodisco (3), filtro aerobio sumergido (4), laguna aerobia (5), filtro anaerobio (6), reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente UASB (7), Fosa séptica (8), tanque imhoff (9), contacto anaeróbico (10), reactores de lecho expandido o fluidificado EGSB – RALF (11), laguna anaerobia (12), laguna de maduración (13), wetland – humedal (14), laguna facultativa (15).

El esquema/algoritmo inicia con un esquema de preguntas para el ámbito residencial en la ciudad de Huancayo (ver Anexo N°05). Luego de rellenar los casilleros y hacer la sumatoria de respuestas negativas por columnas, se seleccionan 8 tecnologías de las 15 tecnologías iniciales y separamos la mitad, quedando descartadas las 7 tecnologías con mayor sumatoria de respuestas negativas. Siguiendo con el esquema se procede a la elección de los trenes de tratamiento de aguas residuales que para este caso particular incluyan las 8 tecnologías (lodos activados, filtro percolador, laguna aerobia, reactor UASB, laguna anaerobia, laguna de maduración, wetland – humedal, y laguna facultativa). Asimismo los trenes de tratamiento deben ser usuales en Latinoamérica y asemejarse a la realidad de Huancayo. Según el informe final del proyecto “Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de aguas residuales de América Latina y el Caribe, al adoptar procesos y tecnologías más sustentables” (2010-2013), las 3 tecnologías más usadas en América latina que representan el 80% son procesos de lodos activados, las lagunas de estabilización y el reactor anaerobio UASB (grafico N°21).

Gráfico N°21. Numero de PTAR en función de tipo de tecnologías en ALC



Fuente: (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.).

Con el fin de comparar las tecnologías, se analizó las experiencias de tratamiento de aguas en países en desarrollo, donde destaca el artículo “Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in developing countries” de los investigadores Oliveira y Von Sperling (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012). El artículo presenta una tabla comparativa de los principales índices cuantificadores del desempeño de las plantas contrastando su funcionamiento con respecto a varios parámetros a partir de información real de operación. Las conclusiones del artículo favorecen el uso del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Post-Tratamiento.

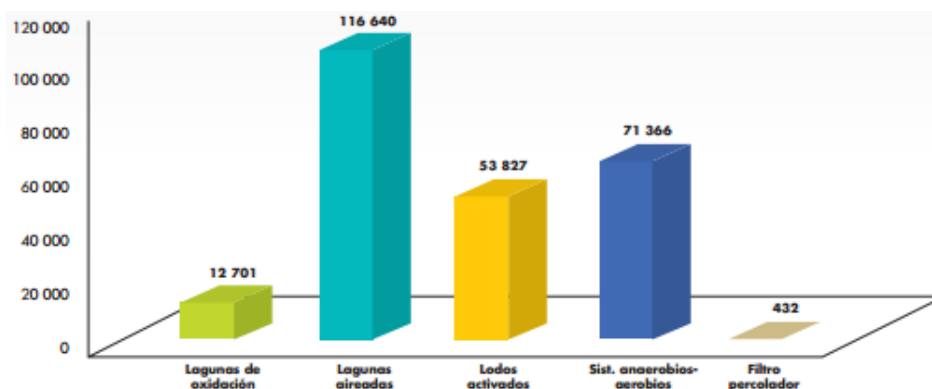
Tabla N°49. Resumen de las conclusiones de los investigadores

Proceso	% Remoción Promedio		
	DBO ₅	DQO	SST
• Fosa Séptica con Filtro Anaerobio	59	51	66
• Lagunas Facultativas	75	55	48
• Lagunas Anaeróbicas y Facultativas	82	71	62
• Lodos Activados	85	81	76
• RAFA	72	59	67
• RAFA con post-tratamiento	88	77	82

Fuente: Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling, iwa Enero 2011 (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012)

En Perú, en la ciudad de lima podemos observar que las tecnologías que más volumen de aguas tratan son las lagunas aireadas, lodos activados y sistemas anaerobios – aerobios.

Grafico N°22. Vol. de aguas tratadas según tec. usada (m3/día)



Fuente: Compendio Estadístico del Perú 2013, - INEI. (Moscoso, 2011)

Al analizar y comparar estas tecnologías, las pondremos como prioridad para los trenes de tratamiento. Los trenes de tratamiento que involucren UASB son elaborados a partir de lo visto en experiencias en Brasil, como se nombra en las investigaciones “Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment” (2012) e “Investigación y experiencia con el pos tratamiento para reactores UASB en Brasil” (2004) (Jordão & Além, 2004). En el comité interinstitucional para la construcción de la planta de tratamiento de la Ciudad de Metapán, en el documento “Pre-Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán” 2011, evalúan ventajas y desventajas de cuatro alternativas viables (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012). Todas tienen en común para el tratamiento primario el uso de Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA o UASB); las cuatro opciones son las siguientes: UASB + Filtro Percolador, UASB + Lodos Activados, UASB + Humedales y UASB + Lagunas. En el Perú en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) opera desde hace varios años un sistema de UASB, complementado por lagunas de estabilización. Los lodos activados presentan variantes y las variantes de aireación extendida y completamente mezclado por sobre las otras. Por otra parte las lagunas de estabilización son el método

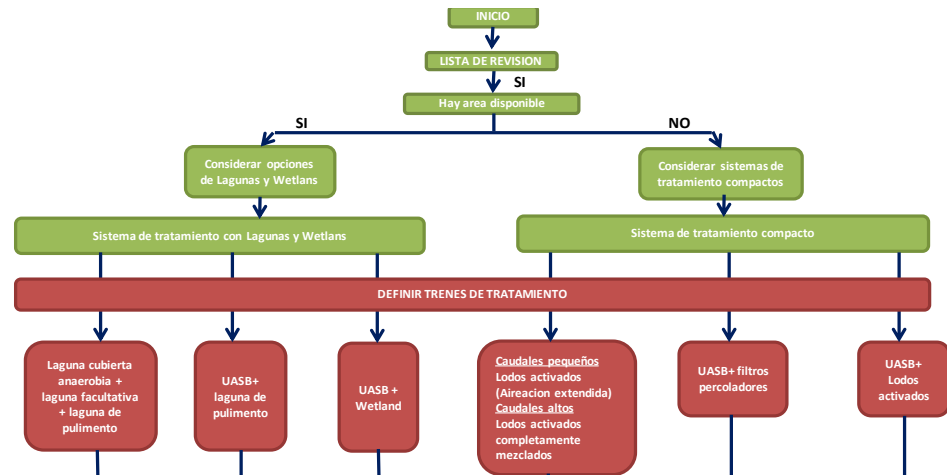
más simple de tratamiento que existe, pudiéndose incluir en una variedad de trenes de tratamiento.

Por último se podría considerar también sistemas de tratamiento dual o de doble etapa que combinan filtro percolador, seguido de un sistema de lodos activados o de contacto con sólidos. Es un enfoque relativamente innovador que sin embargo une dos procesos aerobios e incrementa los precios notoriamente. Entonces por lo descrito, los escenarios serán:

- **Lagunas de estabilización**
- **UASB + laguna anaerobia + lagunas facultativa y de pulimento**
- **UASB + wetland**
- **Lodos activados de aireación extendida**
- **Lodos activados completamente mezclados**
- **UASB + Filtro percoladores**
- **UASB + Lodos Activados**

Los escenarios se clasifican (figura N°38) buscando de esta manera optimizar la tecnología que se vaya a usar mediante la disposición de área con la que se cuenta. Los trenes de tratamiento elegidos son en su mayoría procesos biológicos acoplados (aerobios con anaerobios) por sus distintas ventajas asegurando sustentabilidad y sostenibilidad. La calidad del agua de este proceso acoplado es recomendada para su reutilización en riego, lavado de coches y calles e inclusive en la descarga de sanitarios, cumpliendo con los requisitos para un proyecto de “Urbanización Sostenible” (SUNASS, 2015).

Figura N°38. Esquema / Algoritmo



Fuente: Elaboración propia

Continuando con el esquema, se verá el área disponible con la que cuenta la constructora Z y V encargada de la construcción. En este caso particular se dispone de un terreno con un área reducida de 2701.00 m² que da a la calle principal Jr. Jacaranda de ingreso (Anexo N°) y que se encuentra rodeada de viviendas y un colegio, por lo que se considera solo sistemas compactos de tratamiento debido a la falta de área con la que contamos.

Teniendo cuatro opciones de sistemas para realizar, se descarta a los **lodos activados completamente mezclados** debido a que el caudal a usar no es un caudal alto (3.95 lps) y este sistema es óptimo para caudales altos. Se han reducido las opciones a tres sistemas adecuados por lo que se continuara con el esquema/algoritmo comparando las Bases de diseño, Diseño conceptual y pre diseño (figura N°37).

4.5.3.1. Diseño conceptual: Identificar objetivos y requerimientos del sistema.

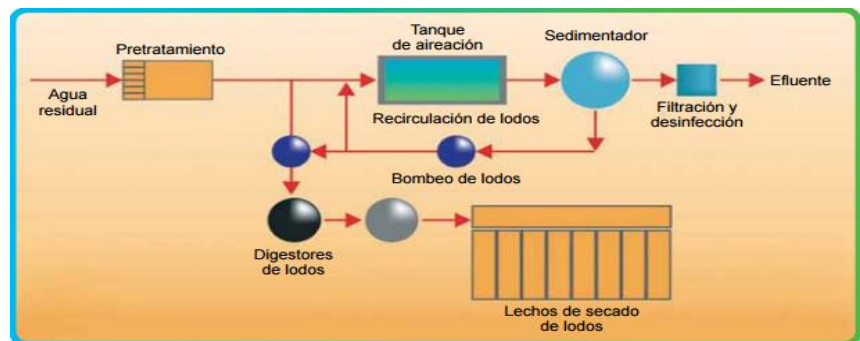
Lodos activados de aireación extensiva

El proceso de aireación extendida prescinde de sedimentador primario, de forma que la totalidad de la materia orgánica es recibida en el tanque de aeración. El

líquido tratado pasa a un estanque de sedimentación secundaria, donde una fracción del lodo sedimentado es recirculada al estanque de aireación, para mantener una concentración, mientras que el resto pasa a un estanque de digestión de lodos para su estabilización y posterior deshidratación. Finalmente, para renovar microorganismos patógenos, el agua que sale del estanque de sedimentación debe ser adicionalmente tratada.

La baja carga orgánica y el largo tiempo de residencia de lodos permiten alcanzar la estabilización del lodo. Esta variante simplifica considerablemente el manejo de lodos, sin embargo el costo por energía eléctrica es mayor por unidad de agua tratada en comparación con las otras variantes de lodos activados.

Figura N°39. Diseño conceptual de lodos activados de aireación extensiva



Fuente: (MINAM, 2009.)

Reactor USAB + Filtro percolador

Es un sistema que trabaja con una fase anaeróbica y otra aeróbica. La fase aeróbica pone en contacto las aguas residuales sedimentadas con cultivos biológicos y oxígeno, donde los microorganismos convierten las sustancias complejas que están presentes en las aguas, principalmente orgánicas, en material celular viviente o en sustancias más simples y sedimentables. Dependiendo el

tipo de filtro que se utilice, no necesita de energía eléctrica y trabaja por gravedad (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012).

Si se desea hacer funcionar por gravedad se necesita aproximadamente 10.00 m de altura, el terreno del proyecto no reúne las condiciones topográficas para desarrollarlo. Técnicamente es una buena opción por su funcionamiento y eficiencia comprobados, y el biogás puede ser utilizado. El costo de la operación y mantenimiento puede ser relativamente bajo.

Figura N°40. Diseño conceptual de PTAR con RAFA y filtro percolador con sedimentación



Fuente: (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012)

Reactor UASB + Lodos activados

Este proceso es más utilizado en países económica y tecnológicamente avanzados para darle tratamiento a grandes caudales de aguas residuales. Utiliza millones de microorganismos para tratar las aguas residuales. La alimentación, crecimiento y reproducción de estos organismos hacen el trabajo de remover materiales de desecho disueltos y suspendidos en el agua. Utiliza equipos electromecánicos que consumen mucha energía eléctrica, y para su operación y mantenimiento necesita personal con cierto grado académico. El lodo activado es

un proceso de tratamiento que ya se describió anteriormente.

Económicamente no sería viable por los costos de construcción, equipamiento y operación y mantenimiento.

Figura N°41. Diseño conceptual de una planta de tratamiento con reactor anaeróbico y lodos activados



Fuente: (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012)

4.5.3.2. Bases de diseño: Datos que llevaron al diseño técnico de las propuestas

El proyecto “Planicie de San Carlos” está ubicado en el paraje a 130.00 m.l. del puente de la Av. Francisca de la Calle, frente al malecón del Río Shullcas, distrito de El tambo, Provincia de Huancayo. Se dispone de un área de 2701.00 m² y perímetro de 791.98 m, por lo que se eligió los sistemas que son más compactos (menos área).

El agua a tratar en este proyecto es agua residual doméstica, y su disposición en este caso será para riego de jardines dentro y fuera de la urbanización. La variación del caudal, tipo y concentración de los contaminantes en las aguas residuales domésticas del proyecto no se ve atenuada por la incorporación del agua proveniente de la actividad comercial e industrial, pero si por el agua de

lluvia en el caso de sistemas de drenaje combinados. En este sentido, las aguas residuales son más homogéneas y es por ello que son aguas residuales relativamente fáciles de tratar. Ello nos permitirá efectuar un diseño confiable sin hacer una caracterización exhaustiva del agua generada, basta con saber el número de pobladores, su suministro de agua y la proyección de crecimiento.

Un parámetro a considerar y que afecta a los procesos biológicos en forma considerable es la temperatura. Para cada el sistema que se elija existen intervalos de temperatura que se deben respetar para una operación eficiente, del mismo modo que existen límites máximos y mínimos permisibles. En este caso se trabajara con una temperatura variable.

Al ser una obra nueva de saneamiento será proyectada incorporando medidas de adaptación a los efectos del cambio climático, que se identificarán a partir de un análisis de vulnerabilidad de los distintos componentes del sistema frente a las amenazas a las que se encuentran expuestos. La localización de la planta de tratamiento se decidirá con información de un atlas de riesgos local que identifique las zonas propensas a inundaciones o deslizamiento de tierras, en lo posible debe alejarse de cauces de ríos, planicies propensas a inundaciones o de laderas que pueden volverse inestables por lluvias intensas. En este proyecto la planta de tratamiento se localizara cerca al cauce del rio shullcas sin presentar riesgo de inundaciones o deslizamiento de tierras como se aprecia en tabla N°50 obtenida del “plan regional de prevención y atención de desastres 2007”).

Tabla N°50. Peligros naturales por provincias y periodos de ocurrencia

PROVINCIA	PELIGRO	PERIODO DE OCURRENCIA	UBICACION
HUANCAYO	Inundaciones Sequia Sismos Erosión de Suelos Deslizamientos Huaycos Derrumbes Vientos fuertes Heladas	Nov. – Abr. Jun. – Ago. Ene. – Dic. Nov. – Abr. Nov. – Abr. Nov. – Abr. Nov. – Abr. Jun. – Ago. Jun. – Ago.	San Jerónimo, Cajas, San Pedro Zona Altina Todo Huancayo Zona Altina, Paiahuanca, Sto. Dgo. Zona Altina, Paiahuanca, Sto. Dgo. Zona Altina, Paiahuanca, Sto. Dgo. Zona Altina, Paiahuanca, Sto. Dgo. Todo Huancayo Todo Huancayo

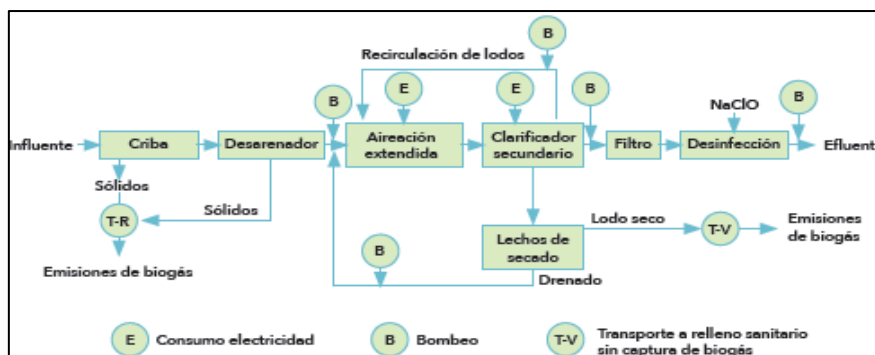
Fuente: COMITÉ REGIONAL DE DEFENSA CIVIL JUNIN - SECRETARIA TECNICA – 2007

4.5.3.3. Pre diseño:

Lodos activados aireación extendida

Este escenario al ser un proceso mecanizado, requiere de un consumo de energía eléctrica importante. Los lodos generados, ya digeridos, son secados por evaporación en lechos de secado y dispuestos en relleno sanitario sin captura de biogás.

Figura N°42. Tren de tratamiento (L.A aireación extendida).



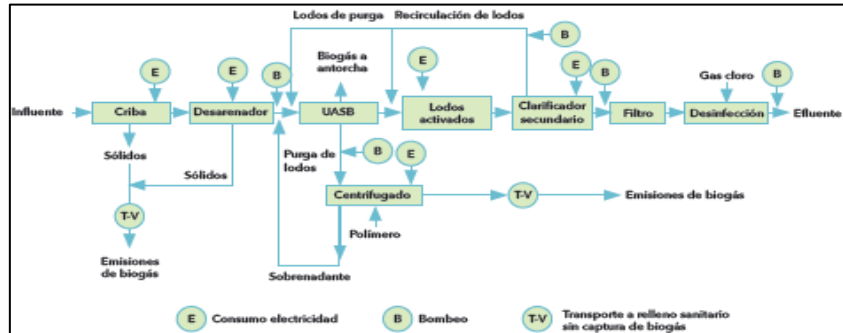
Fuente: (UNAM, 2013)

UASB + Lodos Activados

Este escenario es una combinación de un UASB con recuperación y quema de metano, y un sistema de lodos activados. Los lodos aerobios del sedimentador secundario son dirigidos al reactor UASB para su digestión y espesamiento. El lodo retirado del reactor UASB es

secado por medio de una centrífuga y dispuesto en vertedero.

Figura N°43. Tren de tratamiento (UASB + Lodos activados).

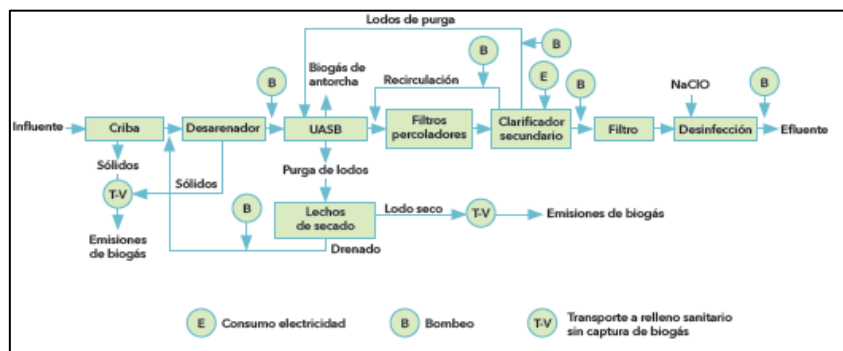


Fuente: (UNAM, 2013)

UASB + Filtro Percolador

Éste escenario es una combinación entre UASB con recuperación y quema de metano y un sistema de filtros percoladores. Los lodos generados por el filtro percolador son digeridos en el reactor UASB y secados por evaporación en los lechos de secado y dispuestos en relleno sanitario sin captura de biogás.

Figura N°44. Tren de tratamiento (UASB + Filtro percolador).



Fuente: (UNAM, 2013)

4.5.3.4. Comparación de Bases de Diseño

Se comparan las bases de diseño de las tecnologías mediante el análisis de la tabla N°51.

Tabla N°51. Comparación financiera, administrativa y técnica

Parámetro	Sistemas Naturales	Media Mecanización	Alta Mecanización
Ejemplo de Proceso	Lagunas Facultativas	RAFA con Post-Tratamiento	Lodos Activados
Financiero			
Costo Operativo	Bajo	Medio	Alto
Costo de Refacciones	Insignificante	Medio	Alto
Costo Químico	Básico	Alto por manejo de lodos	Alto por manejo de lodos
Costo Adquisición de Terreno	Alto	Bajo	Bajo
Administrativo			
Nivel de Capacitación de Operadores	Bajo	Medio	Alto
Apoyo Administrativo	Bajo	Medio (compras y contratos)	Medio (compras y contratos)
Técnico			
Complejidad Operativa	Baja	Media	Baja
Muestreo Para Control de Proceso	Ninguno	Bajo	Alto
Potencial de Trastorno por Mala Operación	Bajo	Medio	Alto
Controles Operativos	Baja	Media	Alta
Calidad de Agua	Media	Alta	Alta
Confiabilidad	Baja, no hay forma de controlar el proceso	Media, pocos elementos de control	Alta

Fuente: (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012)

Como observamos una configuración del sistema de tratamiento de aguas residuales que considere en primera instancia un sistema anaerobio (UASB) y en segunda un sistema aerobio (filtro percolador o lodos activados) acarrea ventajas económicas, sobre todo en lo referente a la operación y mantenimiento, sobre una opción solamente aerobia (lodos activados de aireación extensiva). El sistema anaerobio removerá un % mayor de la materia orgánica del agua residual sin requerimientos de energía para aireación; el resto de materia orgánica lo terminará de remover el sistema aerobio, produciendo agua con excelente calidad, y todo ello con una menor producción de lodos de desecho y un biogás que podría ser utilizado en la misma planta dentro de la urbanización.

Al tener propuestas similares, la decisión final será tomada a partir de los costos de inversión inicial, costos de operación y mantenimiento. Se favorecerá aquel proceso que, cumpliendo con una calidad de agua exigida, posea el más bajo costo; debido a que este es el aspecto limitante más importante para obtener continuidad en el tratamiento del agua. Es por eso que el sistema de lodos activados de aireación extensiva quedara descartado al presentar un notable mayor costo de operación y mantenimiento; operación especializada; y mayor inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento. Esto nos lleva a descartar el sistema únicamente por los costos elevados en comparación con los otros dos sistemas que generaran similar efluente.

Entonces tenemos los reactores anaerobios tipo UASB acoplados con un pos tratamiento. Se analizara la tabla N°52 y tabla N°53 que comparan los dos sistemas de tratamiento.

Tabla N°52. Comparación de opciones de tratamiento

Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales	Remoción %		Remoción CICLOS Log ₁₀			Ventajas	Desventajas
	DBO ₅	Sólidos Suspendedos	VIRUS	Bacterias	Huevos de Helmintos		
RAFA + Filtro Percolador	70 a 90	70 a 90	1 a 2	0 a 2	1 a 2	Los costos de operación y mantenimiento son mínimos y no requiere de energía eléctrica	Los costos de construcción son altos. Son fabricadas en concreto armado.
						Funciona por gravedad, no necesita equipos electromecánicos	Para que funcione por gravedad necesita una diferencia mínima de altura de 10 m
						No necesita grandes extensiones de terreno y se puede construir en terrenos con topografía quebrada.	Puede darse la generación de posibles malos olores y proliferación de moscas y la posible obstrucción del medio filtrante
RAFA + Lodos Activados	60 a 95	60 a 95	1 a 2	0 a 2	1 a 2	No necesita grandes extensiones de terreno y se puede construir en terrenos con topografía plana o quebrada.	Los costos construcción, de operación y mantenimiento son altos, necesitan equipos electromecánicos y energía eléctrica.
						Fácil de estabilizar durante el arranque y tiene gran capacidad para recuperarse	Los trabajos de mantenimiento son mayores y se requiere de personal calificado
						Si todos los equipos electromecánicos funcionan los posibles malos olores son mínimos.	Si hay prolongados cortes de energía eléctrica, la posibilidad de malos olores son grandes. Los equipos electromecánicos por lo general no se encuentran en plaza.

Fuente: (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012) (Modificado)

Tabla N°53. Comparación de dos tratamientos

CRITERIOS DE COMPARACION	TIPO DE TRATAMIENTO	
	UASB + FILTRO PERCOLADOR	UASB + LODOS ACTIVADOS
Es buena la eficiencia de remoción de DBO	Si: Arriba de 90%	Si: Arriba de 90%
Complejidad operativa	MEDIA	ALTA
Utilizara energia electrica para equipos electromecanicos	Si: Utiliza recirculacion al filtro y sedimentador mecanizado	Si: Todo trabaja con electricidad
Disponibilidad de repuestos en plaza	No: Equipo de bombeo	No: Equipo de bombeo y otros
Costo de operación y mantenimiento	MEDIO: Poca mecanizacion	ALTO: Mecanizacion completa
El agua tratada se puede utilizar para riego	Si: Plantas ornamentales y pastizales	Si: Plantas ornamentales y pastizales
Experiencia Local	NO	NO
Mayor es mejor		

Fuente: Elaboración Propia.

Habiéndose comparado los dos sistemas en las tablas anteriores, se encuentran muchas similitudes en % de remoción, ciclos de remoción, calidad del agua tratada, experiencia previa de la tecnología, y el grado de especialización para la operación y mantenimiento. Finalmente al tener dos opciones adecuadas, se utilizara una matriz de decisión para obtener la propuesta óptima de tratamiento de aguas residuales para a urbanización “La Planicie – San Carlos “.

4.5.4. Matriz de decisión

Una metodología de ese tipo con la técnica de evaluación propuesta se basa en una matriz de decisión. La matriz usada en esta investigación es una modificación de la matriz propuesta en la guía de apoyo “Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas” (UNAM, 2013). La estructuración de la matriz propuesta se muestra en el Anexo N°08.

La matriz considera los rubros de aplicabilidad, generación de residuos, aceptación por parte de la comunidad, generación de subproductos con valor económico o de reúso, vida útil, requerimiento de área, costo de inversión inicial, costo de operación y mantenimiento, requerimiento de reactivos, aspectos de diseño, construcción y operación, influencia sobre el entorno e impacto al medio ambiente.

Los rubros mencionados deberán tener asignados valores de ponderación, especialistas en el tema asignaran estos valores como se puede ver en los ANEXOS N°7 y N°11. Los mismos especialistas colaboraran en la calificación de la matriz de decisión utilizando el análisis documental de la investigación como su experiencia personal (ver ANEXOS N°11, N°12, N°13, N°14, N°15, N°16, N°17, N°18, N°19, N°20). Finalmente la opción basada en un reactor UASB + Filtro percolador resulta más atractiva para las condiciones particulares de este proyecto en la ciudad de Huancayo (ANEXOS N°10, N°13, N°16, N°19).

CAPITULO V. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

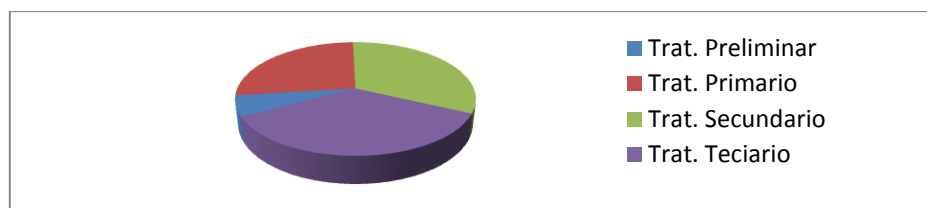
5.1. Selección de propuestas adecuadas y propuesta óptima.

5.1.1. Etapas de tratamiento. Análisis del Anexo N°04 y Cap IV:

Tabla N°54. Comparación de etapas de tratamiento

	Tipo de tratamiento	Etapas de tratamiento				Marco Teórico			UNAM	MINAM		
		P	I	II	III	Etap. de trat. Proyecto "La Planicie"				Funcion	Disposicion final <u>sin</u> desinfeccion apta para:	Disposicion final <u>con</u> desinfeccion apta para:
						P	I	II				
TRATAMIENTO PRELIMINAR PRIMARIO	Estanque de compensacion	Fisico	X						Remover solidos gruesos y arena (componentes de gran y mediano volumen)	Uso de agua tratada no recomendado	Uso de agua tratada no recomendado	
	Desarenador	Fisico	X			X						
	Tamiz de malla ancha (barra, malla)	Fisico	X			X						
	Triturador	Fisico	X									
	Separador de aceite y grasa	Fisico	X									
TRATAMIENTO PRIMARIO PRINCIPAL	Sedimentacion	Fisico		X	X	X	X	X	Remocion de solidos y materia organica suspendida. 60% de solidos y 30% DBO5	Uso de agua tratada no recomendado	Uso de agua tratada no recomendado	
	Tamices de malla fina	Fisico		X	X		X	X				
	Flotacion de aire	Fisico	X	X								
	Floculacion (aerea y mecanica)	Fisicoquimico	X	X	X	X	X	X				
	Sistema de descomposicion de la emulsion	Fisicoquimico	X	X								
TRATAMIENTO SECUNDARIO PRINCIPAL	tratamiento de terreno se basa en la filtracion y tratamiento aerobio de aguas	Biologico Fisicoquimico			X			X	Eliminacion de materia organica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biologicos	Riego de vegetales de tallo alto, cultivos industriales, reforestación	Riego de áreas verdes, viveros, centros recreativos, piscigranjas, lavadode autos, piletas, lagunas artificiales	
	Las lagunas o estanques de estabilizacion	Biologico fisico		X	X			X				
	Lodos activados convencional	Biologico		X				X				
	Lodos activados otros metodos	Biologico		X				X				
	Filtros Biologicos	Biologico		X				X				
	Tratamiento dual o de doble etapa	Biologico		X				X				
	tratamiento anaerobio, flotacion y sediment.	Biologico fisico	X	X				X				
	Humedales o wetlands	Biologico		X	X			X				
TRATAMIENTO AUXILIAR O TERCARIO	Filtracion con medios granulares	Fisico biologico quimico		X	X			X	Eliminacion de compuestos como solidos suspendidos, nutrientes y materia organica remanente no biodegradable	Recarga de acuíferos, recarga industrial	Recarga de acuíferos, recarga industrial	
	Precipitacion y coagulacion quimica	Quimico	X	X	X			X				
	Oxidacion quimica	Quimico	X	X	X			X				
	Otros tratamiento quimico	Quimico		X	X			X				
	Adsorcion de carbono activado	Fisico quimico	X	X				X				

Grafico N°23. Porcentaje de etapa de tratamiento necesaria



El tratamiento secundario debe involucrar una etapa de tratamiento terciario, por las características especiales del proyecto.

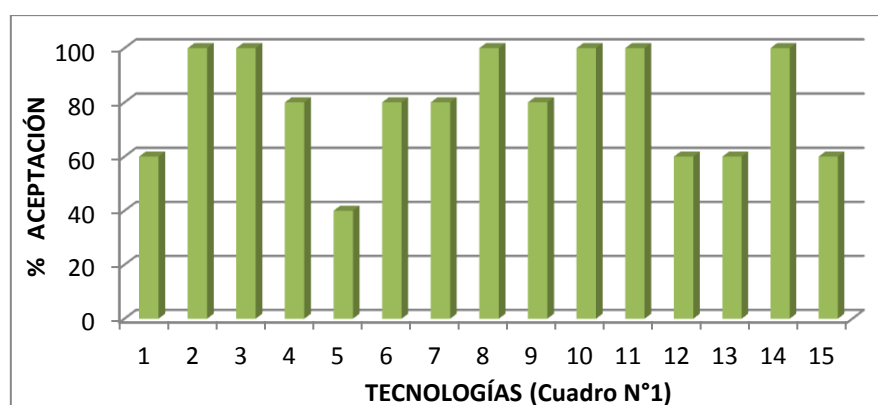
5.1.2. Selección de tecnologías. Análisis del Anexo N°09.

Cuadro N°1. Lista de tecnologías

1	Lodos Activados	9	Tanque Imhoff
2	Filtro Percolador	10	Contacto Anaerobio
3	Biodisco	11	EGSB - RALF
4	Filtro Sumergido	12	Laguna Anaerobia
5	Laguna Aerobia	13	Laguna Maduración
6	Filtro Anaerobio	14	Wetland - Humedales
7	UASB	15	Laguna Facultativa
8	Fosa Séptica		

a) Tipo Ambiental:

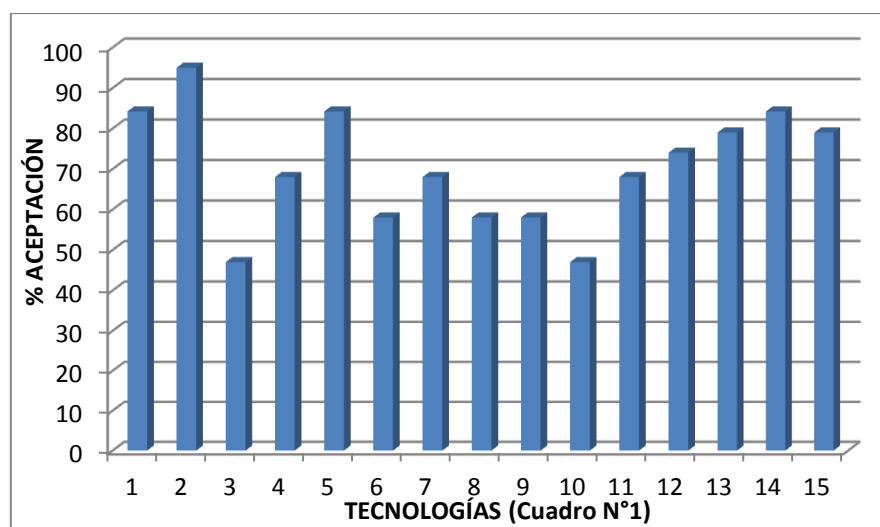
Grafico N°24. Resultados de tipo ambiental de cada tecnología



Las tecnologías menos adecuadas para Huancayo serían los lodos activados, filtro anaerobio, laguna anaerobia, de maduración, y facultativa.

b) Tipo Técnico:

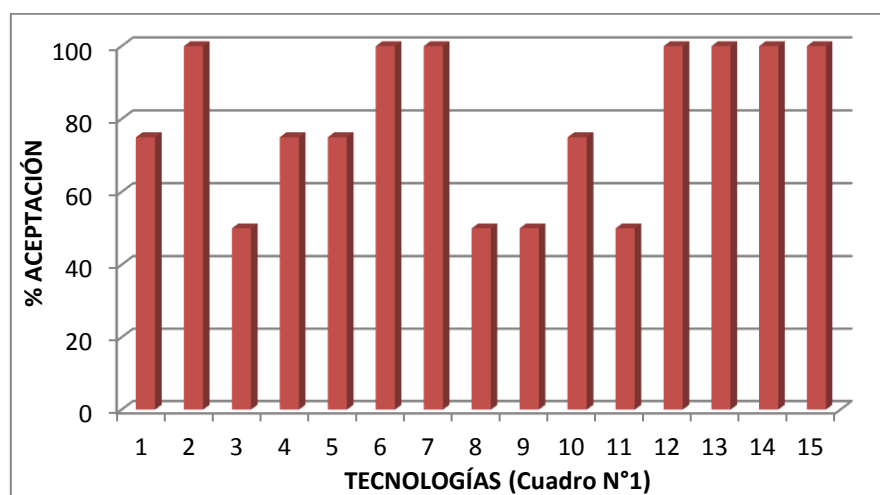
Grafico N°25. Resultados de tipo técnico de cada tecnología



Las tecnologías menos adecuadas para Huancayo serían los biodiscos, filtro anaerobio, fosa séptica, tanque imhoff y contacto anaerobio.

c) Tipo Económico:

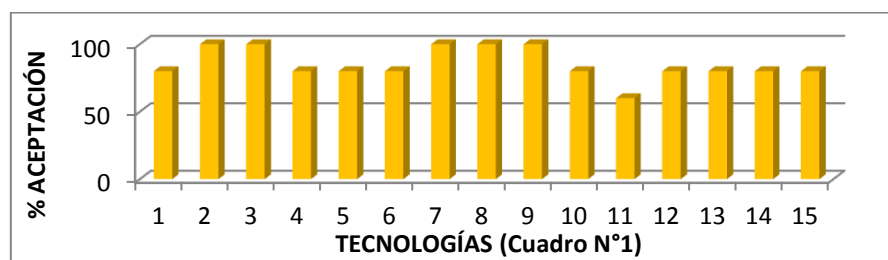
Grafico N°26. Resultados de tipo económico de cada tecnología



Las tecnologías menos adecuadas para Huancayo serían los biodiscos, fosa séptica, tanque imhoff y EGSB - RALF.

d) Tipo Social

Grafico N°27. Resultados de tipo social de cada tecnología



La tecnología menos adecuada sería los EGSB-RALF.

e) Total

Grafico N°28. Resultados del esquema de preguntas

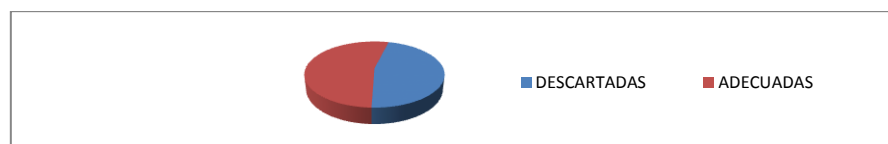
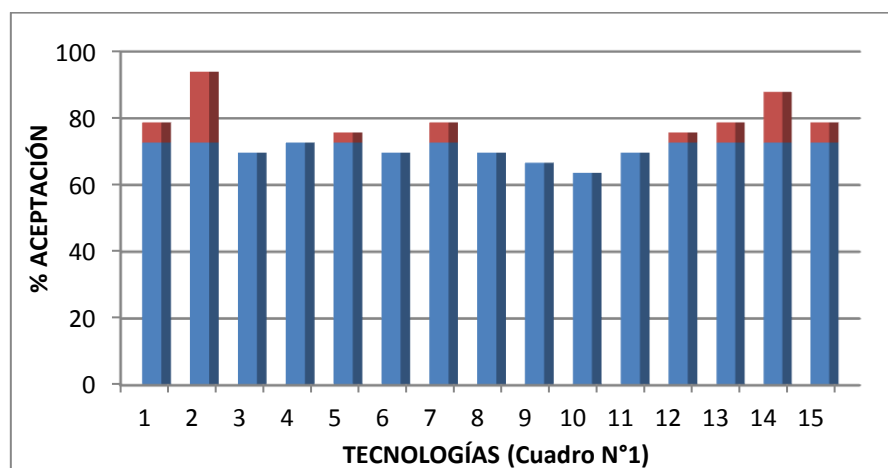


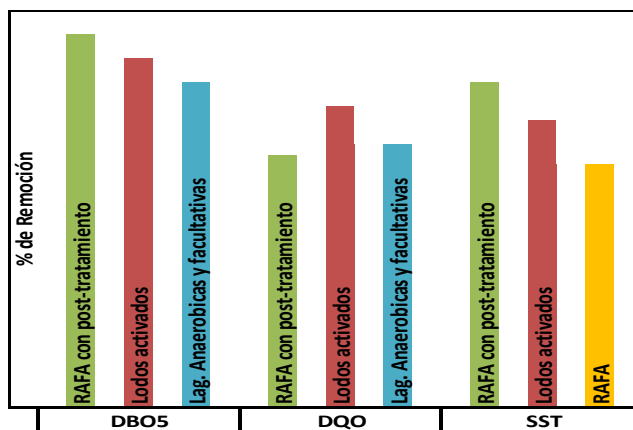
Grafico N°29. Resultado acumulado de cada tecnología



Las tecnologías descartadas serían los biodiscos, filtro sumergido, filtro anaerobio, fosa séptica, tanque imhoff, contacto anaerobio y EGSB-RALF. Se seleccionan las 8 tecnologías restantes de las 15 tecnologías que se tenía.

5.1.3. **Porcentaje de Remoción.** Se analiza la tabla N°49 y experiencia en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) sobre el sistema de UASB.

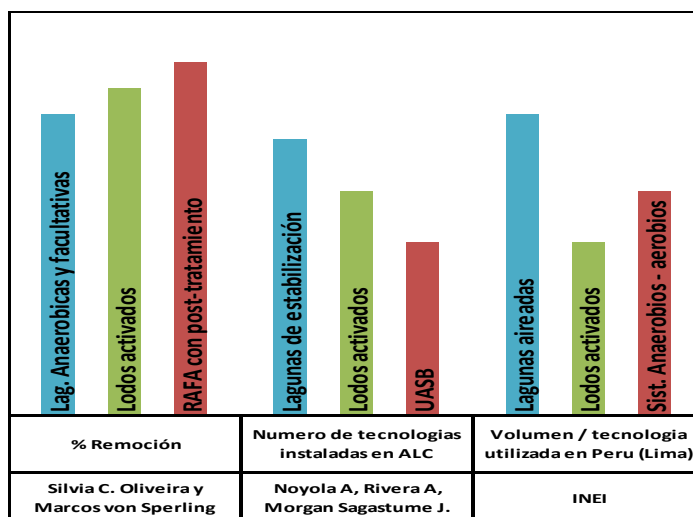
Gráfico N°30. Porcentaje de remoción de tecnologías comunes



La tecnología de RAFA con post tratamiento tiene los mejores % de remoción.

5.1.4. **Selección tren de tratamiento.** Se analiza los gráficos N°21, N°22 y tabla N°49.

Gráfico N°31. Comparación de tecnologías comunes

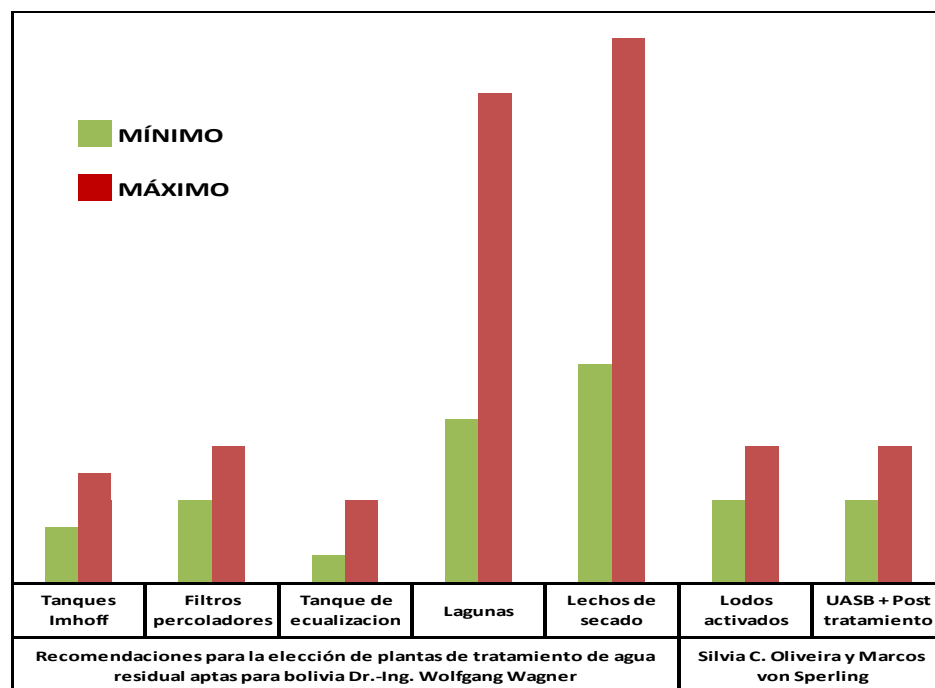


Las lagunas de estabilización, lodos activados y sistemas acoplados (UASB, RALF con post tratamiento) son las

tecnologías con mayor número de instalaciones en Lima y América latina, así como tienen los % de remoción más altos.

5.1.5. **Disposición de área.** Se analiza la tabla N°19 y N°51.

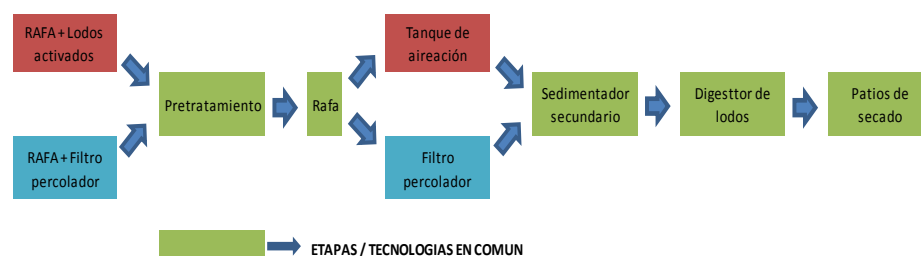
Grafico N°32. Resultados de tipo ambiental de cada tecnología



Las plantas de tratamiento que involucren lagunas y lechos de secado necesitan mayor área de terreno.

5.1.6. **Diseño conceptual.** Se analizan las figuras N°40 y N°41.

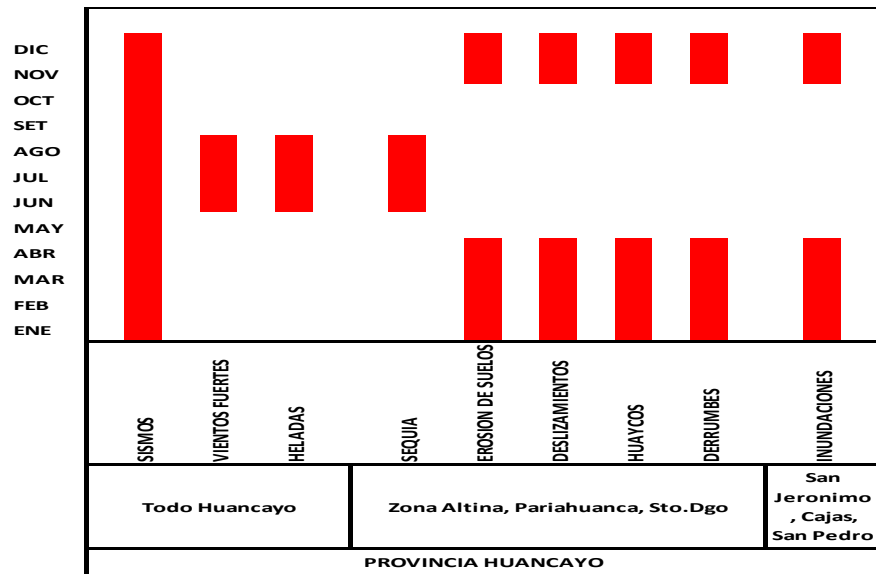
Figura N°45. Resultados de tipo ambiental de cada tecnología



Los lodos activados y filtros percoladores son similares. No habiendo clara superioridad de uno sobre otro.

5.1.7. Localización de la PTAR. Análisis de tabla N°50.

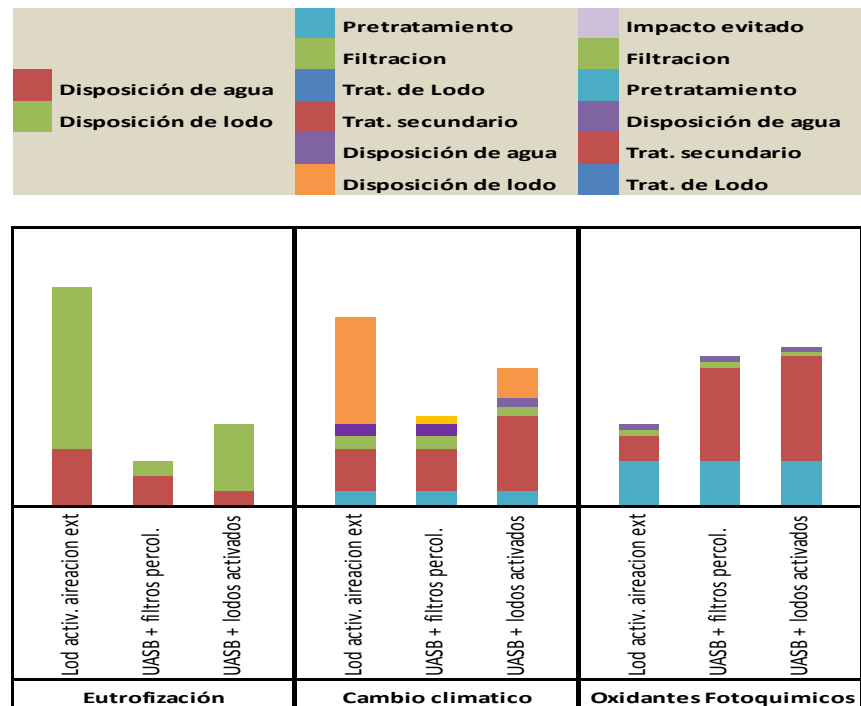
Grafico N°33. Peligro naturales por localización



No presenta riesgo de inundaciones o deslizamiento de tierras, pese a estar cerca al cauce del rio shullcas.

5.1.8. Pre diseño. Se analizan las figuras N°42, N°43 y N°44.

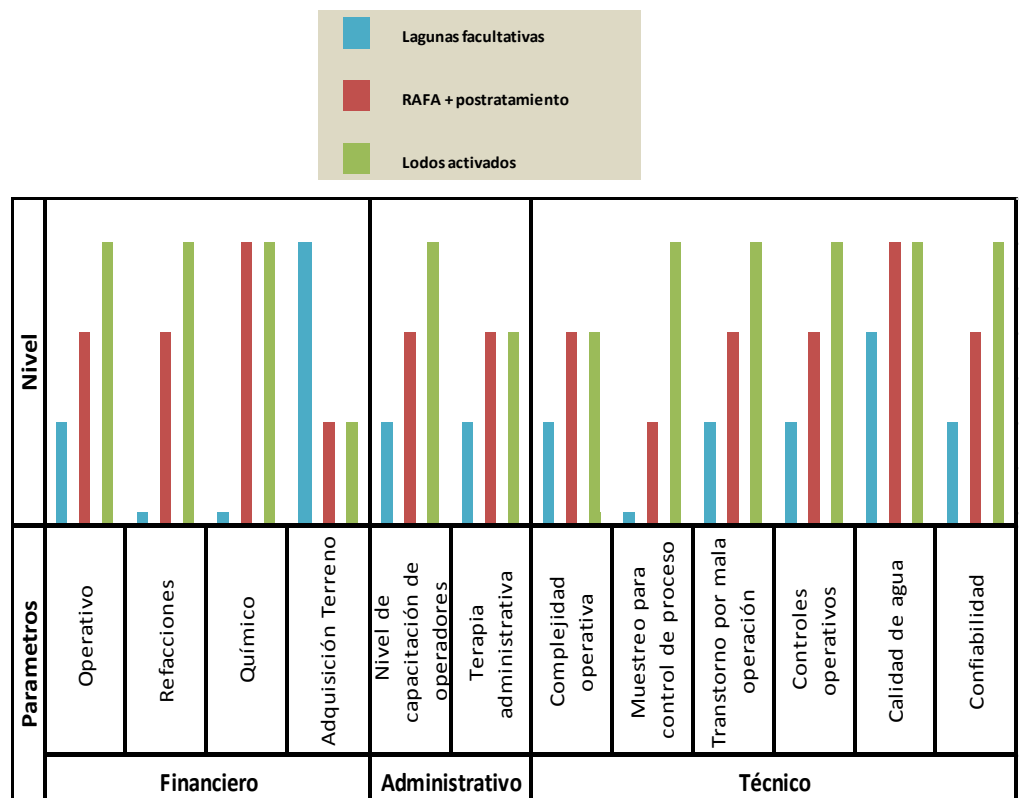
Grafico N°34. Comparación de pre diseños



- Los escenarios con uso de electricidad tienen mayores impactos ambientales y al cambio climático debido a la emisión de bióxido de carbono producido en la generación eléctrica que se utiliza principalmente para la aireación.
- Los escenarios con UASB + postratamiento presentan los menores impactos en las categorías de cambio climático y formación de oxidantes fotoquímicos, aunque mayores impactos en toxicidad humana debido a la concentración de metales en los lodos.
- Los sistemas de tratamiento con lodos activados impactan en mayor medida en la categoría de eutrofización (producen más lodo), lo cual implica un mayor impacto por los nutrientes liberados en el sitio de disposición.

5.1.9. **Comparación financiera, administrativa y técnica de procesos.** Análisis de tabla N°51.

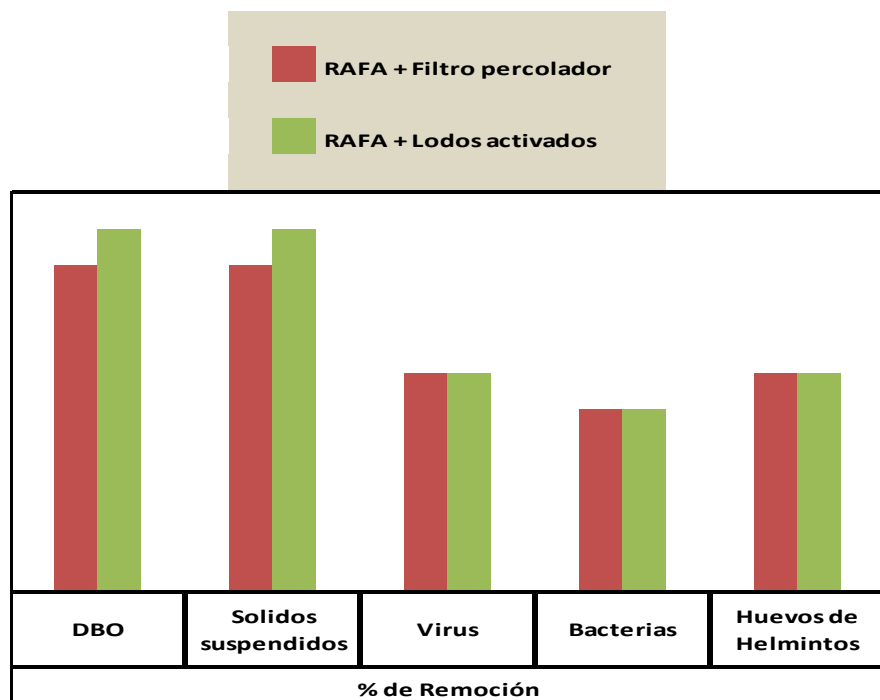
Grafico N°35. Comparación de parámetros



- Un sistema acoplado (anaerobio + aerobio) acarrea ventajas económicas (operación y mantenimiento).
- Los lodos activados necesitan alto nivel de capacitación de operadores y apoyo administrativo.
- Los lodos activados tienen la complejidad operativa/técnica más alta, y las lagunas facultativas la más baja.
- El sistema de lodos activados de aireación extensiva tiene los costos elevados en comparación con los otros dos sistemas que generaran similar efluente.

5.1.10. **Comparación de dos tratamientos.** Análisis de la tabla N°52.

Grafico N°36. Comparación de porcentajes de remoción

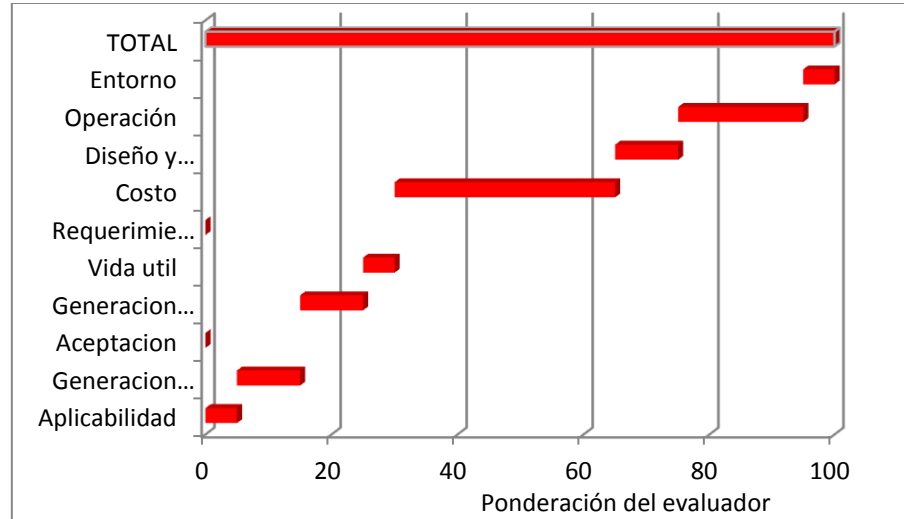


La tecnología de RAFA + lodos activados tiene un % de remoción de DBO y solidos suspendidos más alto que la tecnología RAFA + Filtro percolador.

5.1.11. **Matriz de decisión.**

a) Valores de ponderación. Se analiza el Anexo N°11.

Grafico N°37. Porcentaje de valores por rubro de la matriz

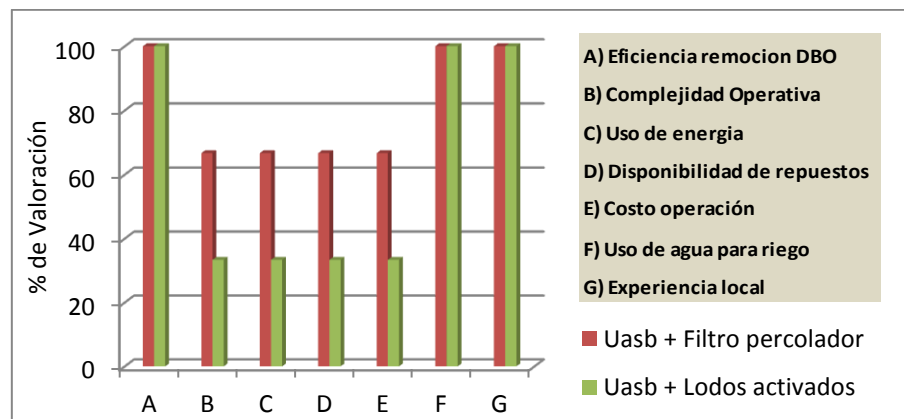


Los aspectos de costos y operación son los más influyentes en la matriz de decisión ocupando un 55% de la totalidad. Los aspectos de aceptación y requerimiento de área tendrán un porcentaje nulo.

b) Operación.

- Análisis de la tabla N°53.

Grafico N°38. Resultados de tabla de comparación



- La tecnología UASB + Filtro percolador tiene efluente de la calidad requerida, manteniendo costos bajos.
- La tecnología UASB + Lodos activados tiene complejidad operativa, uso de electricidad y costos (operación y mantenimiento) altos.

- Análisis de Anexos N°12 al N°20

Grafico N°39. Resultados del Ing. Sanitario Ramírez De la Cruz

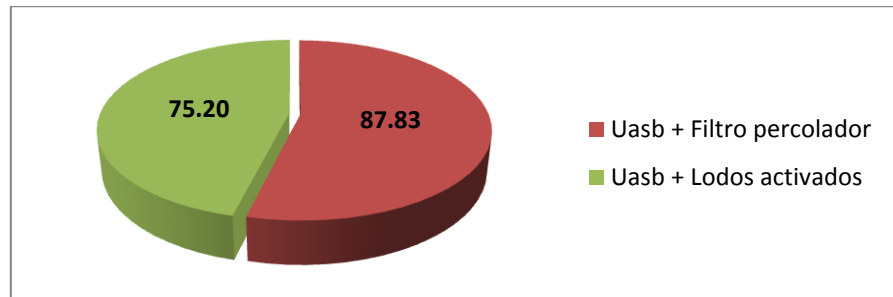


Grafico N°40. Resultados del Ing. Civil e Ing. Ambiental Burgos Quiñones

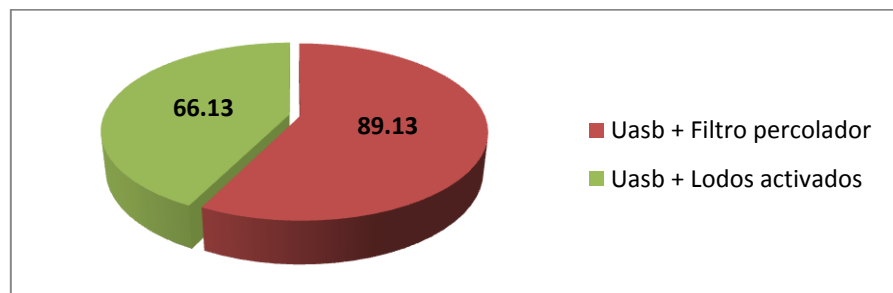


Grafico N°41. Resultados del Ing. Civil A. Poma Samanez

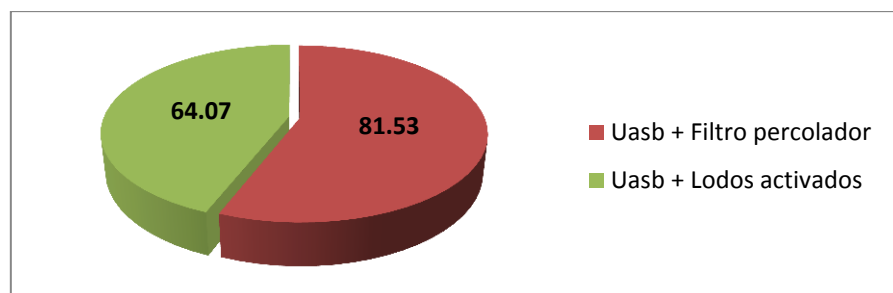


Grafico N°42. Resultados totales por rubro de calificación

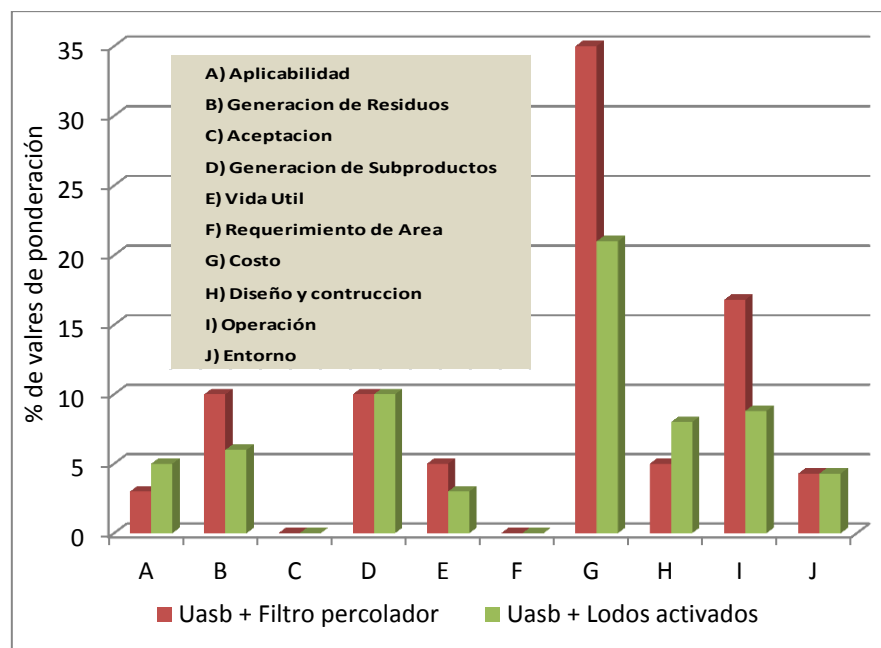
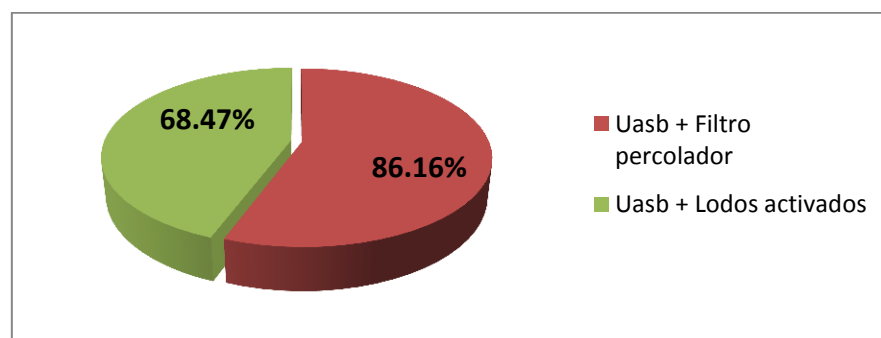


Grafico N°43. Resultados promedio finales en porcentajes



- La opción basada en un reactor UASB + Filtro percolador es más atractiva que la de UASB + lodos activados para las condiciones particulares de este proyecto en la ciudad de Huancayo.
- La tecnología UASB + Filtro percolador tiene mejores puntajes en los rubros de costo y operación, logrando una diferencia favorable respecto a la otra alternativa.

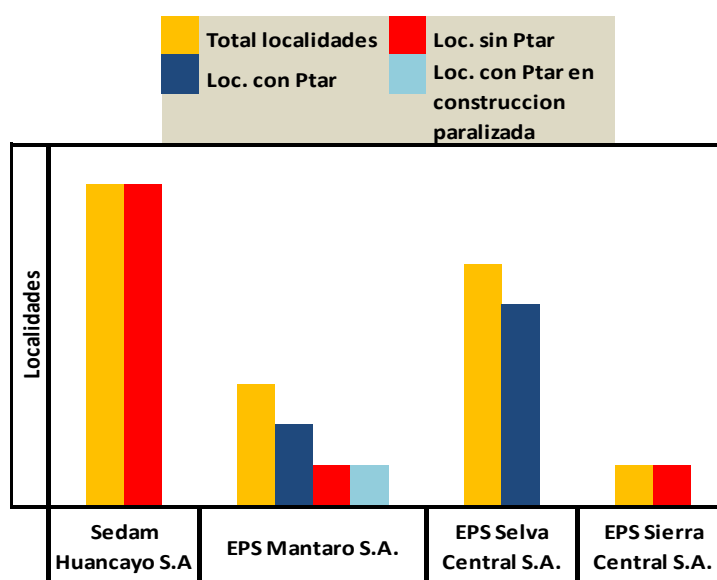
5.2. Análisis de la situación actual del tratamiento de las aguas residuales.

5.2.1. Cobertura del tratamiento de aguas residuales

La ciudad de Huancayo carece de plantas de tratamiento de los desagües recolectados. Son más de 28 descargas que desembocan a los ríos: Shullcas, Chilca, Florido, Ancalá y Mantaro. Se hará un análisis de cada figura o tabla.

a) El **grafico N°19**:

Grafico N°44. Comparación entre EPS de la región Junín



En el ámbito de la región Junín, Sedam Huancayo y Eps Sierra Central tienen el total de sus localidades sin PTAR. Por otra parte Eps Mantaro cuenta 3 localidades con PTAR, 1 de ellas en construcción paralizada. Finalmente Eps Selva Central cuenta con la mayoría de localidades con PTAR.

b) La **tabla N°30**: Dentro de las cuatro localidades más grandes que no cuentan con PTAR, figura SEDAM HUANCAYO SAC en el número 1.

c) La **tabla N°31**: Huancayo vertio 384 L/s que acumulado con otras 88 EPS, se vertieron el 2013 un total de 298.000 metros cúbicos por día sin ningún tratamiento. Esto representa el 12% de todo el agua residual vertida al alcantarillado de las EPS.

d) La **tabla N°32 y visitas a campo**: 2 EPS no cuentan con PTAR en funcionamiento ni en construcción en su área de servicio, 1 EPS cuenta con PTAR en construcción, pero no en funcionamiento y 2 EPS cuentan por lo menos con una PTAR en funcionamiento. No se encontraron PTAR sin funcionamiento ni algún registro o información respecto al tema.

El Distrito de Viques cuenta con una PTAR conformada por dos lagunas de estabilización. El Distrito de Huacrapuquio cuenta con una PTAR conformada por un sistema primario que es el Tanque Imhoff.

De las 7 PTAR construidas en el ámbito de las EPS; 5 PTAR son operadas por las EPS, 1 PTAR están en proceso de construcción y 1 PTAR se encuentran fuera de operación paralizada principalmente debido a conflictos y problemas en la línea del emisor.

e) La **tabla N°33**: La zona sierra central del Perú, donde se incluye la EPS Mantaro, presenta el número de PTAR más bajo respecto a las otras zonas del país.

f) Los **gráficos N°20 y N°21**: En Junín las EPS MANTARO y SELVA CENTRAL, tienen la capacidad hidráulica de 160 y 135 L/s respectivamente. La capacidad de tratamiento instalada en la EPS MANTARO y EPS SELVA CENTRAL S.A

permitiría la descarga diaria de aproximada 119,520 miles de habitantes-equivalentes.

- g) La **tabla N°34**: EPS MANTARO reporto en estado de construcción paralizada por más de un año, donde no se brindó más información.
- h) La **tabla N°35**: Existe desigualdad entre la cobertura del servicio en Lima y el resto del país (Huancayo), donde hay un déficit de cobertura de la capacidad de tratamiento de la carga orgánica y de la carga hidráulica (con un tiempo de retención de 20 días en las PTAR de lagunas de estabilización sin desinfección). Sin este requerimiento, el déficit sería menor.

5.2.2. Tecnologías aplicadas

- a) Los **registros de visitas a campo**:

La EPS Mantaro cuenta con infraestructura de medición del caudal en dos PTAR; y una PTAR con registro de medición. Ninguna PTAR estima el caudal del afluente con el registro de las horas de bombeo del afluente o por el método de sección – velocidad. Ninguna de las PTAR cuenta con tratamiento terciario ni tecnología de desinfección. No se observó algún tipo de sistema de rebose de emergencia ni alguna PTAR con cámaras repartidoras con deficiencias de diseño o construcción.

- b) La **tabla N°35**: Ninguna PTAR de EPS SELVA CENTRAL cuenta con infraestructura de medición del caudal del efluente y tampoco tienen registros del caudal. La EPS MANTARO cuenta con 2 PTAR con infraestructura de medición del caudal del efluente y con 1 PTAR con registros del caudal.

c) La **tabla N°37, tabla N°38, tabla N°39 y tabla N°40:**

Tabla N°55. Comparación de la situación actual de etapas de tratamiento de dos EPS en la región Junín

		EPS Selva Central S.A.		EPS Mantaro S.A.	
Trat. de Lodos		1		2	1
					1
				2	1
	Dearenador	1	2		
	Reja	1	2		
Sin tratamiento		2	1	1	
	Tratamiento Preliminar				
	Tratamiento Primario				
	Tratamiento Secundario				
	Tratamiento Terciario				

De las 5 PTAR (EPS SELVA CENTRAL, EPS MANTARO), 3 cuentan con infraestructura para la colocación de reja o criba, de las cuales 3 tienen reja instalada y en buen estado y cuentan con desarenador pero no reciben afluente por bombeo. Solo 2 PTAR en Junín cuentan con tratamiento primario. Una es con tanque Imhoff (EPS SELVA CENTRAL) y otra con sedimentador primario (EPS MANTARO).

La EPS CENTRAL tiene 3 PTAR, 1 sin tratamiento secundario y 2 lagunas facultativas como tratamiento secundario. La EPS MANTARO tiene una laguna facultativa y una de lodos activados como tratamiento secundarios. Las plantas de tratamiento de EPS CENTRAL y EPS MANTARO cuentan con tratamiento de lodos en funcionamiento. Siendo en su mayoría dentro del tratamiento secundario y dentro de la laguna.

5.2.3. Diseño y Construcción

- a) Los **registros de visita y entrevistas**: Ninguna PTAR en el ámbito del departamento de Junín tiene autorización del ANA para la disposición final de los efluentes. El 100% de PTAR visitadas cuentan con acceso a energía eléctrica. Ninguna PTAR cuenta con edificio de operación ni laboratorios in situ.
- b) Los **registros de visita a campo** y de la **tabla N°42**: La existencia de rejas con barras horizontales y tamices de limpieza manual son las observaciones más comunes en las PTAR de EPS MANTARO y EPS SELVA CENTRAL.
- c) El **Anexo N°21**: Se observaron 3 PTAR afectadas por las crecidas de los ríos de la sierra y selva central, 1 de la EPS MANTARO S.A. y 2 de la EPS SELVA CENTRAL S.A. En 2 de ellas, las estructuras de vertimiento fueron erosionadas y en la restante, la tubería del afluente fue destruida por el río.

Figura N°46. PTAR con infraestructura afectada



5.2.4. Operación y Mantenimiento

- a) Los **registros de visitas a campo**: Las PTAR visitadas presentan sobrecarga orgánica, impidiendo esto cumplir los LMP de coliformes termotolerantes. Las eficiencias de

remoción de coliformes termotolerantes no cuentan con un tratamiento que les permita una remoción OPTIMA, debido al diseño y los caudales reales. No se encontró información relacionada a la capacitación del personal sobre actualizaciones o sobre la seguridad personal. Las PTAR no cuentan con suficiente documentación, por lo que se desconocen dimensiones de los reactores del tratamiento y valores de diseño (caudal, carga orgánica y cantidad de coliformes termotolerantes).

Hay lagunas con poca maleza en su interior y algunas con abundante lodo flotante (operación y mantenimiento insuficientes). Ninguna EPS ha realizado la batimetría de alguna de sus PTAR ni la limpieza de sus lagunas cuando se logra apreciar el lodo desde la superficie de las lagunas. No se comprobaron actividades de monitoreo de parámetros de operación en las EPS visitadas. Ninguna EPS cumple con el programa propuesto en los manuales de la PTAR. Ninguna EPS reportó supervisión o monitoreo por parte del MVCS, el cual no cuenta con un programa de fiscalización de los efluentes de las PTAR.

b) La **tabla N°44, tabla N°45, tabla N°46 y tabla N°47:**

Tabla N°56. Comparación de la situación actual de personal y LMP de dos EPS en la región Junín

		EPS Selva Central S.A.		EPS Mantaro S.A.	
Jauja	DQO DBOs PH T°	Coliformes Term. Aceites y grasas Solidos suspendidos			1
			Carga Hidraulica > 100L/s >= 1 turno/D		
Sin monitoreo		3 2	3 2		3 2
	Cumplimiento LMP 2013	Cumplimiento LMP 2013	Presencia de personal	Personal operativo	

En las PTAR de EPS MANTARO S.A. y EPS SELVA CENTRAL S.A. no se reportan monitoreos sobre la calidad del tratamiento de las aguas residuales, ni existen muestras analizadas ni el número de aquellas que cumplen los LMP.

3 PTAR cuentan por lo menos con un turno por día hábil de personal operativo. En una PTAR el operador vive y realiza la operación y vigilancia las 24 horas. La PTAR de Jauja de tipo lagunas se encuentra en las mejores condiciones ya que cuenta con la presencia de dos operadores.

5.2.5. Costos en tarifa de agua potable

La **tabla N°48** nos muestra los constantes problemas que se generan en la PTAR CONCEPCION debido a los mayores costos de operación y mantenimiento.

5.3. Viabilidad de la propuesta óptima elegida.

5.3.1. **Población:** Se tiene 6 bloques de departamentos de nueve plantas cada uno con dos bloques de dos departamentos por planta y cuatro bloques de tres departamentos por planta. Se tiene 44 lotes para la construcción de viviendas unifamiliares (módulo típico).

Datos		Descripción		Operación	
Numero de Familias:	Viviendas unifamiliares	44		Poblacion:	$188 * 5 = 940$ Hab
	Departamentos	144		Poblacion Fut:	$940 (1 + 1.78\%)^{20} = 1338$ Hab
Densidad Poblacional:	5				
Periodo de diseño:	20 años				
Dotación:	120 l/hab/día				
Tasa de crecimiento:	1.78%				

5.3.2. Área:

- a) **Recreación / Verde:** El área de parques es 1995.34 y el volumen respecto al área total es 8.89%.

Area	m ²	%
Area total	22,435.0	100
Area Recreacion	1995.34	8.89

- b) **Planta de Tratamiento:** La planta ocupara un total de 667.4 m2 para 22435 m2 (2.97% de área empleada).

Tratamiento	Tecnología	Area Neta m ² / hab	%	Fuente
Tratamiento Preliminar	Criba	0.012	5.3E-05	W. Wagner, 2010
	Desarenador	0.012	5E-05	
Tratamiento Primario	Uasb/Rafa	0.02	0.0001	W. Wagner, 2010
Tratamiento Secundario	Filtro Percolador	0.98	0.0044	IPES, 2008
		0.02	0.0001	W. Wagner, 2010
	Sed. Secundario	0.14	0.0006	W. Wagner, 2010
Trat. terciario	Radiacion UV		0.0	F.Solsona, J.P.Méndez, 2002
Trat. de lodos	Lechos de secado	0.16	0.0007	W. Wagner, 2010
Total	Area bruta F=2	An x 2	%	W. Wagner, 2010
	Area Total	0.71	0.0032	
	m2	667.4	2.97	

- 5.3.3. **Personal:** Se necesitara 1 a 2 personas para personal.

Tratamiento	Tecnología	Nivel de Operación	Mantenimiento	Nro de Operadores	Fuente
Preliminar	Criba Desarenador	Bajo	Bajo	1 a 2	Minam, 2009
Primario	Uasb/Rafa	Medio	Medio		Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling
Secundario	Filtro Percolador Sed. Secundario	Medio	Medio		PTAR de la ciudad de METAPÁN, 2012
Terciario	Radiacion UV	Bajo	Bajo		F.Solsona, J.P.Méndez, 2002
Lodos	Lechos de secado	Bajo	Bajo		Cepis/Ops-Oms 1995

5.3.4. Costos:

- a) **Inversión, mantenimiento y operación:** Se necesitara S/. 115902.00 de costo de inversión, S/.234.27 de mantenimiento y operación, esto incluyendo obras civiles y equipamiento.

Tratamiento	Tecnología	Costos			Fuente
		Inversión	Operación	Mantenimiento	
Preliminar	Criba Desarenador	7520	0.74	0.23	UTP (Quintero, Zapata, Guerrero, 2007); W.Wagner, 2010
Primario	Uasb/Rafa	37600	81.47	14.1	UTP (Quintero, Zapata, Guerrero, 2007); W.Wagner, 2010
Secundario	Filtro Percolador	56400	73.63	22.72	UTP (Quintero, Zapata, Guerrero, 2007); W.Wagner, 2010
	Sed. Secundario	12408	16.20	5.00	W. Wagner, 2010
Terciario	Radiacion UV	282	8.65	8.65	F.Solsona, J.P.Méndez, 2002
Lodos	Lechos de secado	1692	2.21	0.68	W. Wagner, 2010
Total		115902	182.89	51.38	

- b) **Consumo eléctrico:** De C/ equipo a utilizar es en total S/.20529.00

Equipo	Hp	Hor	Lugar de Proceso	Consu. Diario (Kw)	Consumo Anual (Kw)	Fac. (S/. / Kw)	Monto Anual (S/.)
Bomba Centrifuga	1.5	16	Desarenador - Uasb	17.904	6445.44	0.28	1805
	1.5	18	Purga de lodos	20.142	7251.12	0.28	2030
	1.5	18	Recirculación	20.142	7251.12	0.28	2030
Blower	10	12	Clarificador	89.52	32227.2	0.28	9024
Bomba Centrifuga	1.5	18	Purga de lodos	20.142	7251.12	0.28	2030
	1.5	16	Clarificador - Filtro	17.904	6445.44	0.28	1805
	1.5	16	Desinfeccion - Efluente	17.904	6445.44	0.28	1805
Total							20529

c) **Personal:** Personal de operación, reactivos y otros.

Cantidad	Cargo / Funcion	US\$ / Mes	Fuente
1	Jefe de la Planta	600	W. Wagner, 2010
1 a 2	Operador	350	W. Wagner, 2010
		950	

d) **Alcantarillado actual:** El costo del alcantarillado actual es S/.0.24 por m³ (Distrito del Tambo, Huancayo)

Clase	Rangos	Tarifa
Categoría	(m ³ /mes)	(S/.m ³)
Residencial		
Social	0 a mas	0.163
Domestico	0 a 8	0.163
	8 a 20	0.219
	20 a mas	0.416
SUNASS, , 2015		

*No incluye IGV

	Tarifa promedio de H2O (S/. m ³)	Tarifa promedio de Alcantarilla (S/. m ³)	Domestico	Alcantarillado
Huancayo	1.015	0.285	0.65	0.18
Tambo	0.923	0.233	0.85	0.24
Fuente	SICAP, Set - 2014		SEDAM, 2017	

5.3.5. **Agua residual:** Que parte del agua residual tratada se comercializara.

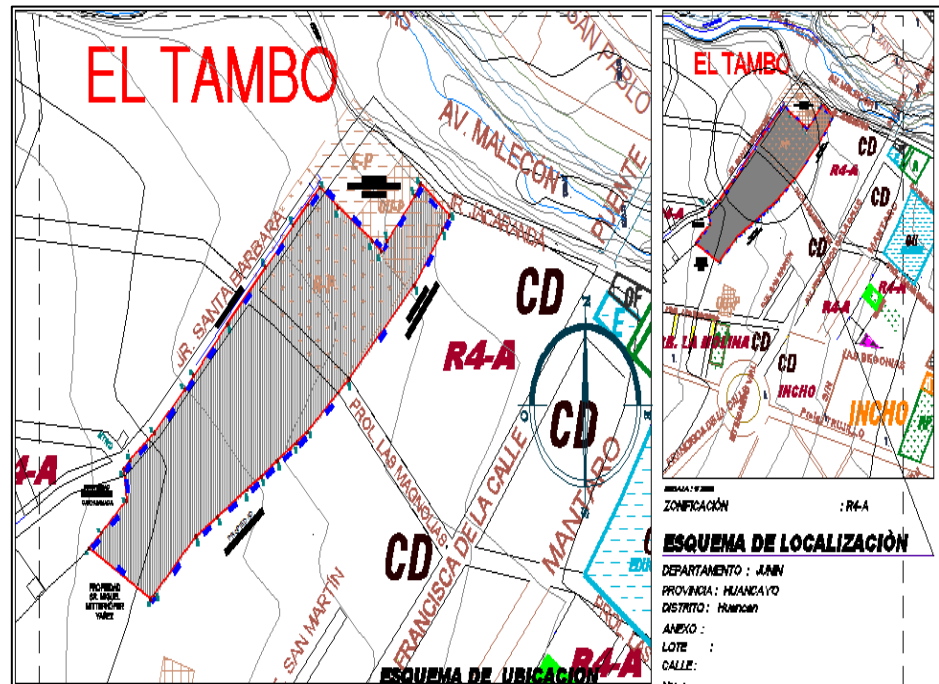
	Caracteristica	M3	%
Agua Potable	Efluente	41172	100
	Afluente	41172	100
Agua Residual	A tratar	41172	100
	Tratada	41172	100
	Rehusada	8619.9	20.9
	Comercializada	32552.1	79.1

5.3.6. **Desarrollo habitacional:** Hay una pérdida el primer año de S/.4738.28 y una ganancia total de S/.191745.70 en el año 25.

Año	Lotes	Lot. Acum	Hab	Volumen (m3)	M&O Anual (S/.)	Tarifas (S/.)	Dfa (S/.)	Area de Parques (m2)	Volumen de riego diario /parque (m3)	Volumen de riego anual /parque (m3)	Volumen restante	Costo de Agua	Dfa. Total
1	188	7.52	37.60	1646.88	9277.16	905.78	-8371.38	1995.34	23.94	8739.59	-7092.71	-39009.90	-47381.28
2	188	15.04	75.20	3293.76	9277.16	1811.57	-7465.59	1995.34	23.94	8739.59	-5445.83	-29952.06	-37417.65
3	188	22.56	112.80	4940.64	9277.16	2717.35	-6559.81	1995.34	23.94	8739.59	-3798.95	-20894.22	-27454.03
4	188	30.08	150.40	6587.52	9277.16	3623.14	-5654.02	1995.34	23.94	8739.59	-2152.07	-11836.38	-17490.40
5	188	37.60	188.00	8234.40	9277.16	4528.92	-4748.24	1995.34	23.94	8739.59	-505.19	-2778.54	-7526.78
6	188	45.12	225.60	9881.28	9277.16	5434.70	-3842.46	1995.34	23.94	8739.59	1141.69	6279.30	2436.84
7	188	52.64	263.20	11528.16	9277.16	6340.49	-2936.67	1995.34	23.94	8739.59	2788.57	15337.14	12400.47
8	188	60.16	300.80	13175.04	9277.16	7246.27	-2030.89	1995.34	23.94	8739.59	4435.45	24394.98	22364.09
9	188	67.68	338.40	14821.92	9277.16	8152.06	-1125.10	1995.34	23.94	8739.59	6082.33	33452.82	32327.72
10	188	75.20	376.00	16468.80	9277.16	9057.84	-219.32	1995.34	23.94	8739.59	7729.21	42510.66	42291.34
11	188	82.72	413.60	18115.68	9277.16	9963.62	686.46	1995.34	23.94	8739.59	9376.09	51568.50	52254.96
12	188	90.24	451.20	19762.56	9277.16	10869.41	1592.25	1995.34	23.94	8739.59	11022.97	60626.34	62218.59
13	188	97.76	488.80	21409.44	9277.16	11775.19	2498.03	1995.34	23.94	8739.59	12669.85	69684.18	72182.21
14	188	105.28	526.40	23056.32	9277.16	12680.98	3403.82	1995.34	23.94	8739.59	14316.73	78742.02	82145.84
15	188	112.80	564.00	24703.20	9277.16	13586.76	4309.60	1995.34	23.94	8739.59	15963.61	87799.86	92109.46
16	188	120.32	601.60	26350.08	9277.16	14492.54	5215.38	1995.34	23.94	8739.59	17610.49	96857.70	102073.08
17	188	127.84	639.20	27996.96	9277.16	15398.33	6121.17	1995.34	23.94	8739.59	19257.37	105915.54	112036.71
18	188	135.36	676.80	29643.84	9277.16	16304.11	7026.95	1995.34	23.94	8739.59	20904.25	114973.38	122000.33
19	188	142.88	714.40	31290.72	9277.16	17209.90	7932.74	1995.34	23.94	8739.59	22551.13	124031.22	131963.96
20	188	150.40	752.00	32937.60	9277.16	18115.68	8838.52	1995.34	23.94	8739.59	24198.01	133089.06	141927.58
21	188	157.92	789.60	34584.48	9277.16	19021.46	9744.30	1995.34	23.94	8739.59	25844.89	142146.90	151891.20
22	188	165.44	827.20	36231.36	9277.16	19927.25	10650.09	1995.34	23.94	8739.59	27491.77	151204.74	161854.83
23	188	172.96	864.80	37878.24	9277.16	20833.03	11555.87	1995.34	23.94	8739.59	29138.65	160262.58	171818.45
24	188	180.48	902.40	39525.12	9277.16	21738.82	12461.66	1995.34	23.94	8739.59	30785.53	169320.42	181782.08
25	188	188.00	940.00	41172.00	9277.16	22644.60	13367.44	1995.34	23.94	8739.59	32432.41	178378.26	191745.70

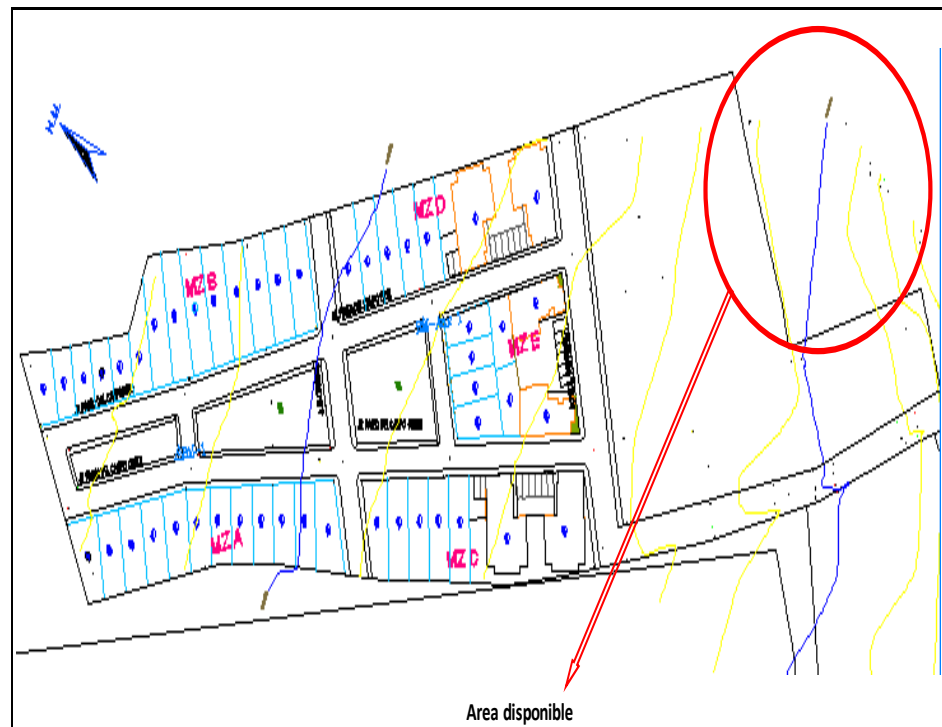
5.3.7. Modelamiento:

Figura N°47. Esquema de localización de la PTAR.



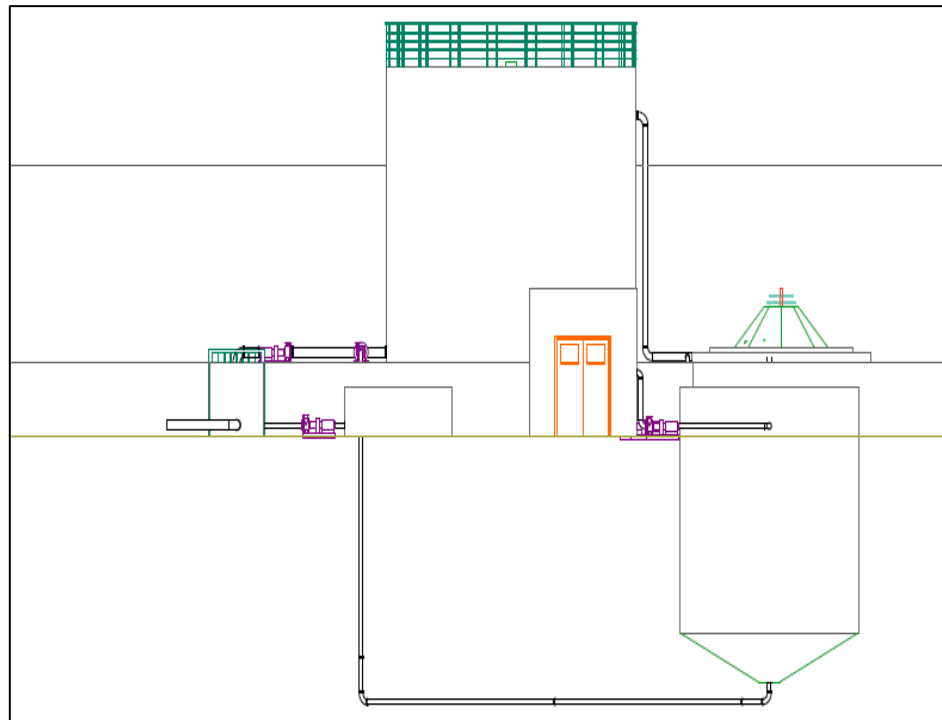
Fuente: Urbanización La Planicie, San Carlos

Figura N°48. Área disponible para PTAR.



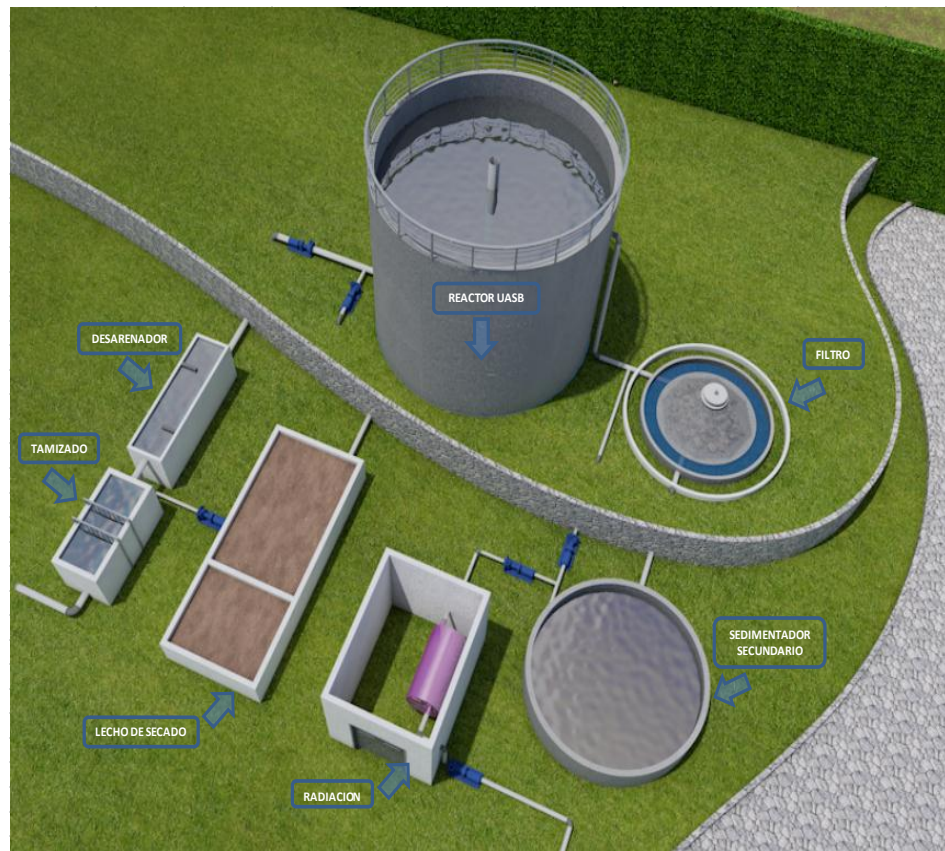
Fuente: Urbanización La Planicie, San Carlos (Modificado).

Figura N°49. Vista de perfil de la PTAR



Fuente: Elaboración propia

Figura N°50. Esquema en Sección de la PTAR.



Fuente: Elaboración Propio

Figura N°51. Vista frontal de la PTAR.



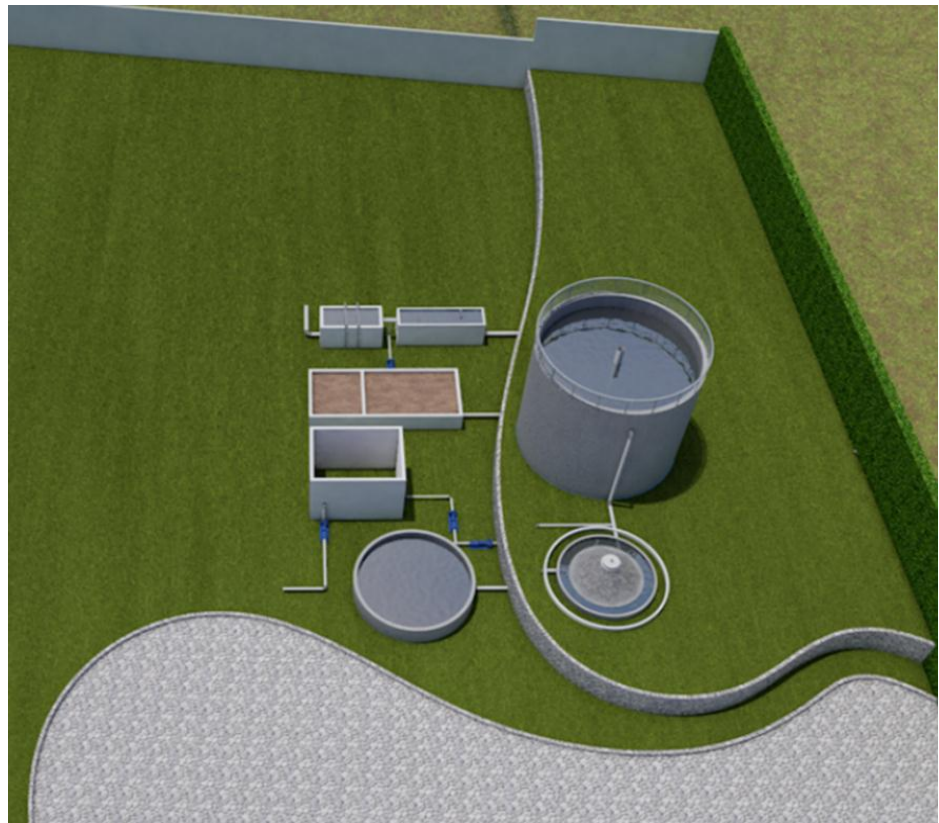
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°52. Detalle del Tratamiento Secundario (Filtro)



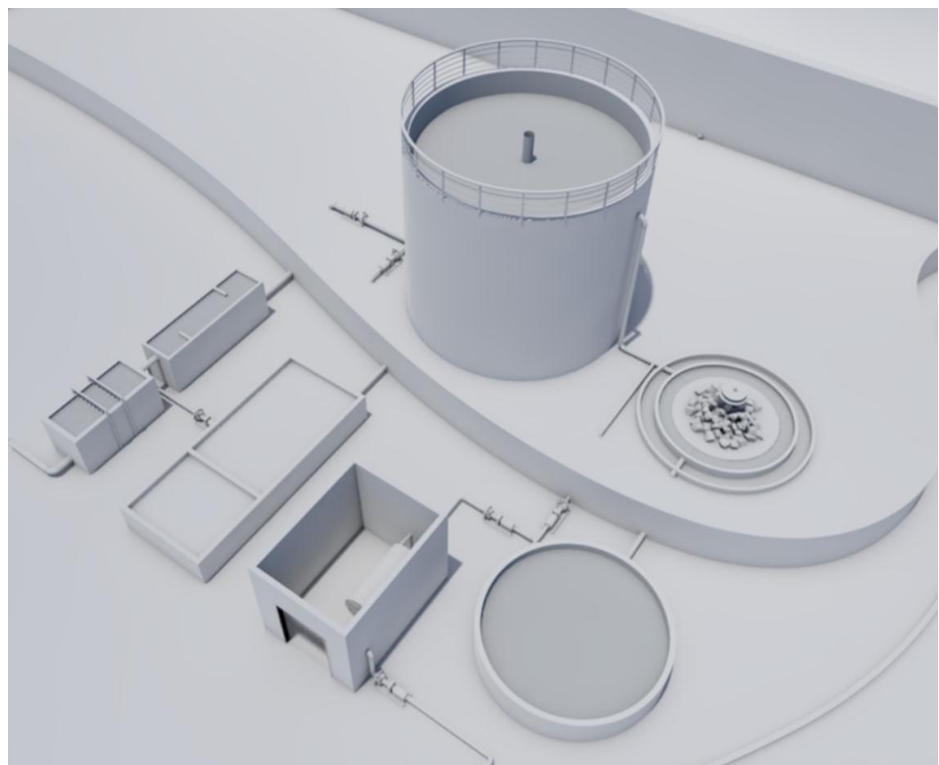
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°53. Área ocupada por la PTAR dentro del área disponible



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°54. Isométrico PTAR



Fuente: Elaboración propia

Figura N°55. Detalle del Frontis de la PTAR y “cerco verde”



Fuente: Elaboración propia

5.4. Contrastación de la hipótesis

5.4.1. Contrastación de hipótesis general:

Se encontraran varias propuestas adecuadas, dentro de las cuales se elegirá la óptima para tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

Conclusión técnica: De acuerdo a los resultados obtenidos con los instrumentos (Esquema/algoritmo, Esquema de preguntas, Matriz de decisión) y el análisis documental, se da por aceptada la hipótesis. Se concluye que son varias las propuestas que resultan adecuadas para la ciudad de Huancayo, dentro de las cuales una propuesta será la óptima dependiendo de las características especiales de cada urbanización huancaína.

5.4.2. Contrastación de hipótesis específica:

Hipótesis específica A: La situación actual del tratamiento de las aguas residuales residenciales es inadecuada en la ciudad de Huancayo 2015.

Conclusión técnica: De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la observación y el análisis documental se da por rechazada la hipótesis. Siendo así que no existe tratamiento de las aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo, la situación actual del tratamiento de aguas residuales es inexistente, lo que resulta inadecuado para la ciudad de Huancayo.

5.4.3. Contrastación de hipótesis específica:

Hipótesis específica B: Un estudio de caso sustentara la viabilidad de la propuesta óptima para el tratamiento de aguas residuales residenciales para urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.

Conclusión técnica: Al ser modelada una propuesta óptima (elegida entre las propuestas adecuadas para la ciudad de Huancayo) con un estudio de caso real del conjunto residencial “La Planicie de San Carlos”, se da por aceptada la hipótesis. Según los cálculos realizados se demuestra que las soluciones planteadas son económicamente rentables, preservando el medio ambiente y garantizando calidad de vida.

CAPITULO VI.

DISCUSION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

La interpretación de los resultados obtenidos de la investigación realizada se basa en la descripción de una propuesta viable de tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo. 2015. Se utilizaron técnicas e instrumentos usados anteriormente para la selección de plantas de tratamiento y sometidos a la valoración de expertos como se corrobora en los trabajos de (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013.), (Ing. Román, Arq. Monge, Licda. Magdalena de Aguilar, & Ing. Franco, 2012).

Con la propuesta que se está planteando en este trabajo no solo se busca solucionar los problemas del manejo de aguas residuales, sino también generar beneficios para el sector económico, político y ambiental creando urbanizaciones con saneamiento sostenible. El proyecto de urbanizaciones sostenibles es una realidad alentadora y rentable, que puede aplicarse a otras realidades utilizando la metodología de selección de tecnología de esta investigación; una metodología exhaustiva y ordenada.

En la ciudad de Huancayo no existe tratamiento de aguas residuales residenciales ni de ningún tipo. Debido a las características de la ciudad de Huancayo son varias las tecnologías que resultan adecuadas, sin embargo para la elección de la tecnología y sistema óptimos se consideran características propias de cada urbanización. Las urbanizaciones en la ciudad de Huancayo serán económicamente rentables, preservando el medio ambiente y garantizando calidad de vida; serán urbanizaciones

sostenibles. Estos datos se corroboran en la tesis de (Arce, 2013), la investigación (Daal, Bracho, Escalona, & Garcia, 2008) y la tesis (Mendez & Feliciano, 2010), donde se demuestra la sostenibilidad de plantas de tratamiento de aguas residuales con reúso en el riego de áreas verdes.

Al analizar la tesis de (Arce, 2013), la investigación de (SUNASS, 2015) y la situación actual, nos surge la gran interrogante de no saber cuál será la situación de acá a dos o más años. Por lo visto y analizado la situación del tratamiento de aguas residuales en Huancayo continuara siendo un tema secundario y una realidad inexistente en los próximos años.

CONCLUSIONES

1. Esta investigación analiza 15 diferentes alternativas tecnológicas, adecuando ciertas tecnologías a un contexto peruano. Se encontraron 8 tecnologías adecuadas para usarse en el ámbito de la ciudad de Huancayo, dentro de las cuales el UASB + filtro percolador resulta la propuesta óptima para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo.
2. Se ha observado la situación actual del alcantarillado en la ciudad de Huancayo y el panorama a futuro; obteniendo como resultado la no existencia de alguna PTAR autorizada por el ANA ni proyectos cercanos. La situación actual del tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huancayo es inexistente y preocupante.
3. La propuesta de UASB + filtro percolador ha sido modelada con un estudio de caso real, Proyecto “La Planicie”, demostrándose que las soluciones planteadas para el tratamiento de aguas residuales residenciales de la ciudad de Huancayo, son económicamente rentables al generar beneficios para el sector económico, político y ambiental. Los resultados corroboran que el proyecto es alentador y rentable para la realidad de Huancayo.
4. Lograr “Urbanizaciones sostenibles” en zonas urbanas de Huancayo es un proyecto ambicioso de innovación, sabiendo que el hecho de innovar tiene el riesgo de perjudicar los intereses de la rentabilidad de los inversionistas, así como lograr la adaptación a las condiciones del medio social y económico huancaíno.

RECOMENDACIONES

1. Se debe considerar de preferencia las combinaciones de tecnología anaerobia con postratamiento, ya que son las soluciones más económicas. Estas combinaciones reducen el consumo de energía y la producción de lodos además de obtener la calidad del agua recomendada para su reutilización en riego, lavado de coches y calles e inclusive en la descarga de sanitarios, con una adecuada filtración y desinfección, esta última para todos los casos.
2. Se debe utilizar desinfección química o por luz ultravioleta para poder cumplir el LMP de coliformes termotolerantes y manejar técnicamente los lodos y subproductos del tratamiento de las aguas residuales para reducir el impacto negativo en el ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arce, L. (2013). *Tesis: Urbanizaciones sostenibles, descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*. presentada a la Pontificia Universidad Católica del Perú. con la finalidad de lograr el título profesional en Ingeniería Civil.
- Batero, C. Y., & Cruz, O. E. (2007). *Evaluación de filtros anaerobios de flujo ascendente (FaFas) con medio de soporte en guadua para la remoción de materia orgánica de un agua residual*. Pereira: Tesis de grado tecnólogo en química. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Correo, D. (2016). *Entrevista a Edmer Trujillo Mori*. Huancayo, Junín: Titular de Vivienda y Construcción – 01 de Septiembre de 2016. <http://diariocorreo.pe/ciudad/congresista-por-junin-pide-que-servicios-de-agua-y-desague-se-declaren-en-emergencia-695410/>.
- Daal, M. d., Bracho, M. B., Escalona, Z., & Garcia, R. (2008). *Investigación titulada: Alternativas de Reutilización de Aguas Residuales Regeneradas en Sistemas de tratamiento en la Península de Paraguaná*.
- Ezequiel, A. (2000). *Introducción a la Investigación Pedagógica*. México.: Editorial Interamericana.
- García, V. M. (2012). *Reportaje: Guerra por el agua en África*.
- Ghanem, R. A. (1994). *Realizó un proyecto de investigación titulado: Rehabilitación de un sistema de recolección de aguas servidas*. Puerto La Cruz, Venezuela.: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui.
- Hammeken, A. A., & Romero, G. E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Tesis Licenciatura*. México.: Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo.
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios. Dirección técnica: (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)*. . Madrid.: Elaboración técnica. BESEL, S.A. (Departamento de Energía).

- Ing. Román, F., Arq. Monge, J., Licda. Magdalena de Aguilar, M., & Ing. Franco, M. (2012). *Estudio de pre-factibilidad: Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de metapán en Santa Ana. Septiembre 2012. Producido por Tetra Tech para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.*
- Janssen, A. J. (1995). *Artículo: Development of a family of large-scale biotechnological processes to desulphurise industrial gasses.* Robin Van Leerdam, Pim Van Den Bosch, Erik Van Zessen, Gijs Van Heeringen and Cees Buisman.
- Jordão, E. P., & Além, S. P. (2004). *Investigación y Experiencia con el Pos-Tratamiento para Reactores UASB en Brasil.* Brasil.: AGUALATINOAMÉRICA.
- Kofi, A. (2003). *Secretario General de la ONU.* El Informe del Milenio.
- Mantilla, M. G. (2002). *Costo índices de sistemas de tratamiento de aguas residuales en México.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. UNAM.
- Márquez, A., & Nava, J. (2002). *Realizaron el proyecto titulado: Eliminación de componentes orgánicos en aguas residuales mediante un reactor del tipo biopelícula sumergida aireada.* Venezuela.: Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Carabobo.
- Martell, P. A. (2013). *Proyecto: Investigación y recomendaciones de posibles soluciones para el control de olores en el tratamiento de aguas residuales.* Universidad Tecnológica de Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro.
- Mendez, M. F., & Feliciano, M. O. (2010). *Tesis: Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes.* Lima, Perú.: Universidad Nacional de Ingeniería. Para obtener el Grado Académico de Maestro en proyectos de inversion.
- Metcalf & Eddy, r. p. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid: 1° Edición. Madrid: McGraw-Hill.
- MINAM. (2009.). *Ministerio del Ambiente. Manual para MUNICIPIOS ECOEFICIENTES. Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-15589.* . Lima.: Impreso en: ENOTRIA S.A.
- Morgan, S. J., Revah, S., & Noyola, A. (1999). *Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos.* Ingeniería y Ciencias Ambientales, FEMISCA.
- Moscoso. (2011). *Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en lima metropolitana.* Lima.: Fomentado por el Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF).
- MVCS. (2006). *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.* . Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

- Noyola, A., Morgan, S. J., & Guereca, P. L. (2013.). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México.: Universidad Nacional Autónoma De México. UNAM.
- Oседа, G. D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Huancayo - Perú.: Ed. Pirámide.
- PNUD. (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano, Publicado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Grupo Mundi-Prensa.
- REMTAVARES. (07 de Julio de 2008.). *El Agua de Madrid, organizado por la Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables (REMTAVARES)*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares>.
- Robles, M. A. (2009). *Estudio en Planta Piloto de la Aplicación de la Tecnología de Membranas para el Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Urbanas: Puesta en Marcha, Seguimiento y Control del Proceso*. Valencia, España.: Tesis de pregrado. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rolim, M. S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización*. Editorial Mc. Graw Hill.
- Romero, R. J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Editorial Alfaomega. 3ª. Edición.
- SEDAM Huancayo, S. (2014). *PLAN MAESTRO OPTIMIZADO*. Sedam Huancayo, Junin, Huancayo.
- SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*. Lima, Perú.: Biblioteca Nacional del Perú.
- Torres, L. P., Pérez, V. A., Vásquez, S. N., Madera, P. C., & Rodríguez, V. J. (2011). *Artículo: Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio*. Cali, Colombia.
- UMSS. (2009). *Material de apoyo didáctico de "diseño y métodos constructivos de sistemas de alcantarillado y evacuación de aguas residuales" para la materia de ingeniería sanitaria II*. Cochabamba, Bolivia.: presentado por: Santos Fernando Nogales Soria y Diómedes Tito Quispe Aricoma. Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología - Carrera Profesional de Ingeniería Civil.
- UNAM. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Adalberto Noyola, Juan Manuel Morgan – Sagastume, Leonor Patricia Guereca. Impreso y hecho México.1ra. edición.
- Wikipedia. (16 de Diciembre de 2016). *Recuperado* . Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huancayo>).
- Wolfgang, W. (2010). *Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia*. La Paz Bolivia.: Publicación elaborada por ANESAPA.

World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture.*

ANEXOS

Anexo I – Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipotesis	Variables	Indicadores	Tecnicas	Instrumentos
¿Qué propuesta sería la adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015?	Determinar una propuesta adecuada para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo. 2015	Se encontraran varias propuestas adecuadas, dentro de las cuales se elegirá la óptima para tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Propuesta óptima	Costos, diseño y construcción, área de demanda, eficiencia, entorno, operación	Analisis documental, Observacion estructurada	Guia de revision documental, Esquema/ algoritmo, matriz de decision
			Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental
A. ¿Cuál es la situación actual del tratamiento de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo 2015?	A. Evaluar la situación actual del tratamiento de aguas residuales residenciales en la ciudad de Huancayo 2015.	A. La situación actual del tratamiento de las aguas residuales residenciales es inadecuada en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Situacion Actual	Cobertura, tec. aplicadas, diseño y construcción, costos, operación, marco legal	Analisis documental, Observacion estructurada	Guia de revision documental, Guia de observacion, formas de registro objetivas
			Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental
B. ¿Cómo sustentar la viabilidad de la propuesta optima elegida para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015?	B. Sustentar la viabilidad de la propuesta optima elegida para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.	B. Un estudio de caso sustentara la viabilidad de la propuesta optima elegida para el tratamiento de aguas residuales residenciales para lograr urbanizaciones sostenibles en la ciudad de Huancayo 2015.	Variable Independiente Viabilidad	Area, personal, costos, poblacion, Marco legal	Analisis viabilidad, Analisis documental	Estudio de caso, Esquema/algoritmo, matriz de decision
			Variable Dependiente Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales	Marco legal, Caracteristicas agua residual residencial	Recopilacion de datos analisis documental	Guia de revision documental

Anexo 2 – Normativa vigente

NORMA	DESCRIPCION	RELEVANCIA EN
Constitucion Politica del Peru	Base del ordenamiento juridico nacional	MARCO LEGAL
R.M. N.° 336-2014-VIVIENDA	Plan de Inversiones del Sector de Saneamiento de Alcance Nacional 2014-2021.	CONSTRUCCION
R.M. N.° 270-2014-VIVIENDA	Criterios de elegibilidad y priorización para la asignación de recursos a proyectos de inversión en el sector de saneamiento.	CONSTRUCCION
D.S. N.° 13-2014-VIVIENDA	Decreto supremo que integra la prestación del servicio de saneamiento y modifica el texto del reglamento de la ley general de servicios de saneamiento. Abre a las EPS la posibilidad de concesionar servicios de saneamiento.	OPERACIÓN
Resolución N.º 016-2014-SUNASS-CD	Procedimiento para incorporar en el periodo regulatorio vigente proyectos de inversión no incluidos en la fórmula tarifaria .	OPERACIÓN
R.M. N.° 273-2013-VIVIENDA	Aprobación del protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las PTAR domésticas o municipales .	OPERACIÓN
Ley N. 30045 y D.S. N.° 015-2013-VIVIENDA	Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento y su reglamento. Esta ley tiene por objeto establecer medidas orientadas al incremento de la cobertura y al aseguramiento de la calidad y la sostenibilidad de los servicios de saneamiento a nivel nacional, a la vez que promueve el desarrollo, la protección ambiental y la inclusión social.	OPERACIÓN
R.J. N.° 224-2013-ANA	Nuevo reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas . Disposiciones y modificaciones	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
D.S. N.° 015-2012-VIVIENDA	Reglamento de protección ambiental para proyectos vinculados a las actividades de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento.	CONSTRUCCION
R.M. N.° 052-2012-MINAM	Facilitar la concordancia entre el Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) a efectos de implementar las medidas de prevención, supervisión, control y corrección de los impactos ambientales negativos significativos derivados de los proyectos de inversión pública.	CONSTRUCCION
Plan Bicentenario	El Perú hacia el 2021 - Plan Estratégico de Desarrollo Nacional del CEPLAN	CONSTRUCCION
R.J N°182-2011-ANA	Aprobar el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial, que forma parte integrante de la presente resolución.	OPERACIÓN
Resolucion de Consejo Directivo N°025-2011 SUNASS	Propuesta de metodologia para determinacion de los pagos adicionales por exceso de concentracion respeto de los valores maximos admisibles de las descargas de AR no domesticas al alcantarillado.	OPERACIÓN

NORMA	DESCRIPCION	RELEVANCIA EN
R.D. N.° 003-2011-EF/68.01 Modificado por R.D. N.° 008-2013-EF/63.01 Anexo SNIP 05	Contenido mínimo general del estudio de preinversión a nivel de perfil de un proyecto de inversión.	CONSTRUCCION
D.S N.° 014-2011-MINAM	Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA - PERÚ 2011-2021) El PLANAA es un instrumento de planificación nacional de largo plazo para el mejoramiento de las condiciones ambientales del país.	CONSTRUCCION
D.S. N.° 021-2009-VIVIENDA y D.S. N.° 003-2011-VIVIENDA	Decreto de aprobación de los valores máximos admisibles (VMA) para la descarga al alcantarillado público y su reglamento.	OPERACIÓN
D.S. N.° 003-2010-MINAM	Definición de los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales .	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
D.S. N.° 007-2010-AG	Declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados, con el objeto de prevenir el peligro de daño grave o irreversible que amenace a dichas fuentes y la salud de las actuales y futuras generaciones.	CONSTRUCCION
R.J. N.° 274-2010-ANA	Define las medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Agua Residual – PAVER.	CONSTRUCCION
R.J. N.° 202-2010-ANA	Aprueban la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros.	CONSTRUCCION
R.J. N.° 489-2010-ANA	Modifican el Anexo 1 de la R.J. N.° 202-2010-ANA, en lo relativo a clasificación de cuerpos de agua marino-costeros.	CONSTRUCCION
Reglamento Nacional de Edificaciones, norma OS.090	Planta de tratamiento de aguas residuales. Define estándares de diseño para diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales.	CONSTRUCCION
D.S. N.° 022-2009-VIVIENDA Modifica Norma OS.090	Incorpora el tratamiento preliminar avanzado y el emisor submarino con vertimiento al mar.	CONSTRUCCION
R.M. N.° 258-2009-VIVIENDA	Metodología para la formulación de planes regionales de saneamiento.	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
D.S. N.° 023-2009-MINAM	Aprueban disposiciones para la implementación de los ECA, a partir del 1 de abril del 2010.	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
Ley N.° 29338 (2009)	Ley de Recursos Hídricos. Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
RJ. N°0351-2009-ANA	Otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas.	OPERACIÓN
D.S. N.° 002-2008-MINAM	Aprueban los estándares de calidad ambiental para agua (ECA-Agua).	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
D.S. N° 013-2007-SA	Unifica y estandariza los procesos administrativos que se siguen antes las distintas instancias del MINSa, sus organos desconcentrados y organismos publicos	Aprobacion del TUPA del MINSa

NORMA	DESCRIPCION	RELEVANCIA EN
D.S. N.º 007-2006-VIVIENDA	Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015. El Plan Nacional del Sector Saneamiento contiene los objetivos, estrategias , metas y políticas para el desarrollo de dicho sector a corto, mediano y largo plazo, así como los programas, inversiones y fuentes de financiamiento.	OPERACIÓN
R. N.º 011-2007-SUNASS-CD y modificaciones	Saneamiento. Regula las características de calidad que debe tener la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito de competencia de la SUNASS.	OPERACIÓN
Ley N.º 28611	Ley General del Ambiente. El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan. Además, regula los vertimientos autorizándolas, siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.	CONSTRUCCION
Ley N.º 27972	Ley Orgánica de Municipalidades . Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza , autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico de las municipalidades .	CONSTRUCCION
Ley N.º 27902	Ley Orgánica de Gobiernos Regionales. Regula la participación de los alcaldes provinciales y la sociedad civil en los gobiernos regionales y fortalece el proceso de descentralización y regionalización.	CONSTRUCCION
Ley N.º 27680	Ley de Reforma sobre Descentralización. Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local.	CONSTRUCCION
Ley N.º 27446 y D.S. N.º 019-2009-MINAM	Ley y Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental . Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de los proyectos de inversión.	CONSTRUCCION
Ley N.º 27314 y D.S. N.º 057-04-PCM	Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento. Categoriza los residuos sólidos y define su manejo.	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
Ley N.º 26842	Ley General de Salud. El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas , reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilará su cumplimiento.	OPERACIÓN Y CONSTRUCCION
Ley N.º 26338	Único Ordenado del Reglamento. Regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rural y urbano.	OPERACIÓN
D.L. N.º 757	Ley Marco para la Inversión Privada . 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.	CONSTRUCCION
Ley N.º 26631	Para efecto de formalizar denuncia de la legislación ambiental	NORMA PROCESAL PENAL

Anexo 3 – Autoridades involucradas y funciones

AUTORIDAD	DESCRIPCION
Ministerio del Ambiente (MINAM)	Ente rector del sector ambiental nacional, que coordina en los niveles de gobierno local, regional y nacional. Se encarga de asegurar el cumplimiento del mandato constitucional sobre la conservacion y el uso sostenible de los recursos naturales. Asegura la prevencion de la degradacion del ambiente y recursos naturales.
Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Organismo encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hidricos por cuencas hidrograficas. Formula la politica y estrategia nacional d recursos hidricos, administra y formaliza los derechos de uso de agua, distribuye equitativamente, controla su calidad y facilita solucion de conflictos.
Ministerio de Agricultura (MINAG)	Otorga licencias para uso de aguas superficiales, subterranas, y otorga licencias para el uso de aguas residuales.
Ministerio de Economia y Finanzas (MEF)	Aprueba presupuestos de EPS y SUNASS. Aprueba y canaliza los fondos para inversion.
Ministerio de la Produccion	Regula la calidad de las descargas industriales en los sistemas de desague.
Ministerio de Vivienda, Construccion y Saneamiento	Responsable del sector saneamiento, determina politicas y promueve el desarrollo, regula los estandares de diseño y las especificaciones tecnicas de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.
Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)	Organismo regulador fiscalizador de la prestacion de los servicios de saneamiento en el peru. Garantiza que los servicios de saneamiento se den en las mejores condiciones de calidad. Establece las condiciones generales de la prestacion del servicio y de fijacion tarifaria. Supervisa las EPS urbanas registradas mas no las JASS.
Ministerio de Salud (MINSAL)	Autoridad sanitaria. Regula la calidad del agua para consumo humano, autoriza vertimientos, aprueba proyectos de PTAR, formula politicas y dicta normas de calidad sanitaria y proteccion ambiental a traves de DIGESA

Anexo 4 – Etapas de tratamiento de aguas residuales

Nombre/descripción del proceso unitario	Tipo de tratamiento	Etapa del tratamiento			
		P	I	II	III
TRATAMIENTO PRELIMINAR PRIMARIO					
El estanque de compensación mezcla las aguas residuales para reducir las variaciones en las concentraciones y evitar "picos"	Físico	x			
El desarenador remueve la arena y polvo	Físico	x			
El tamiz de malla ancha (barra, malla) remueve sólidos de gran tamaño	Físico	x			
El triturador pulveriza los sólidos para reducir su tamaño	Físico	x			
El separador de aceite y grasa remueve los materiales aceitosos	Físico	x			
TRATAMIENTO PRIMARIO PRINCIPAL					
La sedimentación remueve fácilmente sólidos inertes y orgánicos sedimentales	Físico		x	x	x
Los tamices de malla fina remueven sólidos inertes y orgánicos	Físico		x		x
La flotación de aire remueve grasa y sólidos ligeros	Físico	x	x		
La floculación (aérea y mecánica) mejora la remoción de sólidos suspendidos	Físicoquímico	x	x	x	x
El sistema de descomposición de la emulsión remueve el aceite y grasa dispersos	Físicoquímico	x	x		
TRATAMIENTO SECUNDARIO PRINCIPAL					
El tratamiento en el terreno se basa en la filtración y tratamiento aerobio de aguas residuales. Los métodos incluyen: (1) infiltración rápida, (2) aspersión, (3) flujo superficial, (4) absorción subterránea del suelo	Biológico Físicoquímico			x	
Las lagunas o estanques de estabilización tratan las aguas residuales mediante procesos naturales. Estos incluyen (1) lagunas aerobias y facultativas, (2) lagunas facultativas y aerobias aereadas, (3) contención total (4) descarga hidrográfica controlada (5) lagunas de pulimento	Biológico Físico			x	x
El lodo activado convencional, brinda tratamiento aerobio mediante el uso de partículas microbianas suspendidas de flóculo y aereadores en una o varias series únicas de cuencas del reactor	Biológico			x	
Otros métodos de lodos activados con diseños variados incluyen: (1) estabilización por contacto, (2) aeración prolongada, (3) zanjas de oxidación y (4) reactores por lotes secuenciales	Biológico			x	
Los filtros biológicos usan el crecimiento microbiano en medios filtrantes para brindar un tratamiento aerobio a las aguas residuales. Los principales tipos incluyen: (1) filtros con medios fijos (clasificados según el tipo de medio, tasa de flujo y frecuencia de dosificación), y (2) contactores biológicos rotatorios	Biológico			x	
Los sistemas de tratamiento dual o de doble etapa combinan los lodos activados y los procesos de filtro biológico	Biológico			x	
Los procesos de tratamiento anaerobio usan bacterias facultativas y anaerobias para degradar los sólidos disueltos y orgánicos. Incluyen unidades de flotación y sedimentación. Los principales tipos incluyen: (1) tanques séptico/Imhoff, (2) tanques biolíticos (biomasa suspendida), (3) filtros y discos sumergidos (biomasa fija)	Biológico Físico		x	x	
El tratamiento con humedales o "wetlands" construidos, aprovechan la capacidad natural que poseen ciertas especies vegetales y ecosistemas acuáticos para depurar agentes contaminantes.	Biológico			x	x
TRATAMIENTO AUXILIAR O TERCIARIO					
La filtración con medios granulares remueve los sólidos suspendidos mediante el tamizado, sorción y descomposición biológica. Existen varios tipos: (1) filtros de arena (lento, rápido, intermitente, recirculante), (2) filtros ascendentes, de presión y de tasa alta con limpieza mecánica, (3) los filtros duales o de medios múltiples	Físico Biológico Químico			x	x
La precipitación y coagulación química se usan principalmente para la remoción de sólidos disueltos y fósforo en combinación con la floculación y sedimentación. Los productos químicos comunes usados para promover la coagulación incluyen: cal, cloruro férrico, polímero, carbonato de sodio, cloruro de bario, hidróxido de sodio y alumbre	Químico	x	x		x
La oxidación química se usa principalmente para la desinfección y control de olor. Los métodos principales incluyen (1) cloración, (2) ozonización y (3) radiación	Químico	x	x		x
Otros métodos de tratamiento químico que pueden usarse para el tratamiento de aguas residuales incluyen: (1) adición de nutrientes para mejorar los procesos de tratamiento biológico, (2) recarbonación para reducir el pH y (3) otros métodos de neutralización	Químico			x	x
La adsorción de carbono activado remueve sólidos y material orgánico	Físico- Químico		x		x

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Anexo 5 – Esquema de Preguntas

Figura: Esquema de preguntas

Tipo	Preguntas	Respuesta															Consideraciones/Parámetros	
		Lod. Act	Filt. Per	Bioidis.	Filt. Sum	Lag. Aer	Filt. Ana	UASB	Fos. Sep	T. Imhoff	Cont. Ana	FGSB- RALF	Lag. Anaer	Lag. Mad	Met. Humid	Lag. Facul		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Ambiental	¿Es adecuada la tecnología para operar dentro de las fluctuaciones de temperatura del medio ambiente presentes en la ciudad de Huancayo?																	
	¿La dirección del viento dominante es favorable para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en cuanto al transporte de aerosoles o posibles malos olores?																	
	¿Se tiene una estimación de la generación de gases de efecto invernadero por parte del proceso de tratamiento (agua y lodos)?																	
	¿Se cuenta con un estudio de impacto ambiental, incluso preliminar, que valore los impactos de la operación de esta tecnología?																	
	¿El terreno de la ciudad de Huancayo es adecuado para esta tecnología?																	
Técnica	¿Se ha identificado, algún antecedente de la tecnología aplicable al caso y que haya sido desarrollada o adaptada en la ciudad de Huancayo?																	
	¿Se puede considerar que el agua residual a tratar es óptima para la tecnología?																	
	¿Se está seguro de que no hay descargas industriales de relevancia, o de cualquier otro tipo, que alteren el carácter municipal del agua residual?																	
	¿En la tecnología propuesta se favorece el tratamiento biológico sobre los tratamientos fisicoquímicos?																	
	¿Es necesario un tratamiento preliminar para lograr el efluente deseado?																	
	¿Se puede prescindir de un post tratamiento para lograr la calidad de efluente que se desea?																	
	¿Se reconoce que la planta de tratamiento genera lodos y su cantidad y calidad están determinadas y se ha considerado su manejo?																	
	¿La planta de tratamiento, preferentemente, integra o contempla el tratamiento de lodos por vía biológica?																	
	¿En plantas pequeñas, se ha considerado dentro del tren de manejo de lodos, al menos para efectos de comparación y evaluación, los lechos de secado?																	
	¿Se tiene contemplado cómo disponer adecuadamente los lodos generados?																	
	¿La planta de tratamiento genera lodos susceptibles a ser usados como mejoradores de suelo o en la agricultura?																	
	¿La planta de tratamiento integra o contempla el control de olores?																	
	¿El control de olores hace uso de biotecnología o sistemas biológicos como biofiltros de composta?																	
	¿La planta de tratamiento integra o contempla la mitigación de ruido?																	
	¿Se tiene contemplado que hacer con el agua residual o agua parcialmente tratada durante el arranque de la planta o falla de la misma sin que afecte ostensiblemente al medio ambiente?																	
¿La planta de tratamiento usa equipamiento de fácil compostura y reposición?																		
¿Se considera que la tecnología usada en la planta de tratamiento favorece una fácil operación y mantenimiento de la misma?																		
¿Se considera que la planta no requiere personal altamente capacitado; es decir, puede ser operada por un profesional de nivel técnico medio con la capacitación necesaria?																		
¿La tecnología necesita profesionales que puedan demostrar experiencia en su diseño y operación?																		
Económica	¿La tecnología utilizada en la planta de tratamiento puede contribuir de alguna forma con las actividades económicas de Huancayo?																	
	¿En cuanto a la reparación y/o mantenimiento de los equipos de la planta es posible apoyarse con prestadores de servicios de Huancayo?																	
	¿El costo de inversión de la planta de tratamiento es apropiado a la realidad económica de Huancayo?																	
Social	¿El costo de operación y mantenimiento de la planta es sostenible considerando las finanzas de la Urbanización o del responsable de su operación?																	
	¿Se vea la población directamente relacionada o posiblemente afectada positivamente con la construcción de la planta de tratamiento?																	
	¿Se necesita un esquema de participación ciudadana durante el proceso de construcción y operación?																	
	¿Se considera contratar personal especializado?																	
	¿Se necesita un plan de capacitación para los empleados?																	
Seguridad	¿Es segura y no representa algún tipo de peligro para la población directa e indirecta?																	

Fuente: Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales (Modificado) (UNAM, 2013)

Anexo 6 – Tabla de comparación

Figura: Comparación de las opciones de tratamiento para obtener la mejor alternativa

CRITERIOS DE COMPARACION	TIPO DE TRATAMIENTO	
	UASB + FILTRO PERCOLADOR	UASB + LODOS ACTIVADOS
Es buena la eficiencia de remoción de DBO	Si: Arriba de 90%	Si: Arriba de 90%
Complejidad operativa	MEDIA	ALTA
Utilizara energía eléctrica para equipos electromecánicos	Si: Utiliza recirculación al filtro y sedimentador mecanizado	Si: Todo trabaja con electricidad
Disponibilidad de repuestos en plaza	No: Equipo de bombeo	No: Equipo de bombeo y otros
Costo de operación y mantenimiento	MEDIO: Poca mecanización	ALTO: Mecanización completa
El agua tratada se puede utilizar para riego	Si: Plantas ornamentales y pastizales	Si: Plantas ornamentales y pastizales
Experiencia Local	NO	NO
Mayor es mejor		

Fuente: Estudio de pre-factibilidad "Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de metapán en Santa Ana" (Ing. F. Román, Arq. J. Monge, e Ing. M. Franco, 2012)



 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO CIVIL
 CIP 41645



 Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57969



 ALFREDO POMA SAMANEZ
 ING. CIVIL
 CIP 78946



 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 41645

Anexo 7 – Tabla de ponderación



Figura: Valores de ponderación (la totalidad debe sumar 100)

Factor Evaluado	Comentarios del Evaluador	Pond.del Evaluador
Aplicabilidad del proceso		
Generacion de Residuos		
Aceptacion por parte de la comunidad		
Generacion de subproductos con valor economico o de uso		
Vida util		
Requerimiento del area		
Costo		
Diseño y construccion		
Operación		
Entorno e impacto ambiental	   	

Fuente: Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales (UNAM, 2013)

Anexo 8 – Matriz de decisión

	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO: _____ RUBROS EVALUADOS: _____	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	
#	%				D*A
1		APLICABILIDAD DEL PROCESO			0
2		GENERACIÓN DE RESIDUOS			0
3		ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD			0
4		GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO			0
5		VIDA ÚTIL			0
6		REQUERIMIENTO DE ÁREA			0
7		COSTO			0
7.1		Inversión			0
7.2		Operación y mantenimiento			0
7.3		Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotar en la casilla 7.3 D			0
8		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			0
8.1		Criterios de diseño			0
8.2		Experiencia			0
8.3		Tecnología ampliamente probada			0
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento			0
8.5		Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotar en la casilla 8.5D			0
9		OPERACIÓN			0
9.1		Flexibilidad de operación			0
9.2		Confiabilidad del proceso			0
9.3		Complejidad de operación del proceso			0
9.4		Requerimiento de personal			0
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio			0
9.6		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotar en la casilla 9.6D			0
10		ENTORNO			0
10.1		Influencia de la temperatura			0
10.2		Producción de ruido			0
10.3		Contaminación visual			0
10.4		Producción de malos olores			0
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)			0
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos			0
10.7		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotar en la casilla 10.7D			0
11	100	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 11E			



Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57969


ALFREDO POMA SAMANEZ
 ING. CIVIL
 CIP 78946



Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO CIVIL
 CIP 41645



Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 41645

Anexo 9 – Esquema de preguntas (Estudio caso)

Tipo	Preguntas	Respuesta															Consideraciones/ Parametros
		Lod. Act	Filt. Per	Biologis	Filt. Sum	Lag. Aer	Filt. Ana	UASB	Fos. Sep	T. Imhoff	Cont. Ana	EGSB- RALF	Lag. Aneae	Lag. Mad	Wet. Humid	Lag. Facul	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Ambiental	¿Es adecuada la tecnología para operar dentro de las fluctuaciones de temperatura del medio ambiente presentes en la ciudad de Huancayo?	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	Adecuada SI Optima NO	
	¿La dirección del viento dominante es favorable para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en cuanto al transporte de aerosoles o posibles malos olores?	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
	¿Se tiene una estimación de la generación de gases de efecto invernadero por parte del proceso de tratamiento (agua y lodos)?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	¿Se cuenta con un estudio de impacto ambiental, incluso preliminar, que valore los impactos de la operación de esta tecnología?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	Realizado por S.U
	¿El terreno de la ciudad de Huancayo es adecuado para esta tecnología?	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	
Técnica	¿Se ha identificado, algún antecedente de la tecnología aplicable al caso y que haya sido desarrollada o adaptada en la ciudad de Huancayo?	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	
	¿Se puede considerar que el agua residual a tratar es óptima para la tecnología?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	
	¿Se está seguro de que no hay descargas industriales de relevancia, o de cualquier otro tipo, que alteren el carácter municipal del agua residual?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	En la ciudad SI Urbanización NO
	¿En la tecnología propuesta se favorece el tratamiento biológico sobre los tratamientos fisicoquímicos?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	Por las Precas
	¿Es necesario un tratamiento preliminar para lograr el efluente deseado?	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	
	¿Se puede prescindir de un post tratamiento para lograr la calidad d efluente que se desea?	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	
	¿Se reconoce que la planta de tratamiento genera lodos y su cantidad y calidad están determinadas y se ha considerado su manejo?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	Procesos aceptados no generar
	¿La planta de tratamiento, preferentemente, integra o contempla el tratamiento de lodos por vía biológica?	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	
	¿En plantas pequeñas, se ha considerado dentro del tren de manejo de lodos, al menos para efectos de comparación y evaluación, los lechos de secado?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	
	¿Se tiene contemplado cómo disponer adecuadamente los lodos generados?	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	
	¿La planta de tratamiento genera lodos susceptibles a ser usados como mejoradores de suelo o en la agricultura?	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	¿La planta de tratamiento integra o contempla el control de olores?	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	
	¿El control de olores hace uso de biotecnología o sistemas biológicos como biofiltros de composta?	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	
	¿La planta de tratamiento integra o contempla la mitigación de ruido?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI mínimo
	¿Se tiene contemplado que hacer con el agua residual o agua parcialmente tratada durante el arranque de la planta o falla de la misma sin que afecte ostensiblemente al medio ambiente?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
¿La planta de tratamiento usa equipamiento de fácil compostura y reposición?	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI		
¿Se considera que la tecnología usada en la planta de tratamiento favorece una fácil operación y mantenimiento de la misma?	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI		
¿Se considera que la planta no requiere personal altamente capacitado; es decir, puede ser operada por un profesional de nivel técnico medio con la capacitación necesaria?	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI		
¿La tecnología necesita profesionales que puedan demostrar experiencia en su diseño y operación?	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	con técnicos comerciales	
Económica	¿La tecnología utilizada en la planta de tratamiento puede contribuir de alguna forma con las actividades económicas de Huancayo?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI		
	¿En cuanto a la reparación y/o mantenimiento de los equipos de la planta es posible apoyarse con prestadores de servicios de Huancayo?	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	
	¿El costo de inversión de la planta de tratamiento es apropiado a la realidad económica de Huancayo?	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	No se consideran combinaciones
	¿El costo de operación y mantenimiento de la planta es sostenible considerando las finanzas de la Urbanización o del responsable de su operación?	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
Social	¿Se vera la población directamente relacionada o posiblemente afectada positivamente con la construcción de la planta de tratamiento?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	Son temas	
	¿Se necesita un esquema de participación ciudadana durante el proceso de construcción y operación?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	pre y post construcción
	¿Se considera contratar personal especializado?	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	de la PTAR
	¿Se necesita un plan de capacitación para los empleados?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	
¿Es seguro y no representa algún tipo de peligro para la población directa e indirecta?	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO		













Anexo 10 – Tabla de comparación (Estudio caso)

CRITERIOS DE COMPARACION	TIPO DE TRATAMIENTO			
	UASB + FILTRO PERCOLADOR		UASB + LODOS ACTIVADOS	
Es buena la eficiencia de remocion de DBO	3	Si: Arriba de 90%	3	Si: Arriba de 90%
Complejidad operativa	2	MEDIA	1	ALTA
Utilizara energia electrica para equipos electromecanicos	2	Si: Utiliza recirculacion al filtro y sedimentador mecanizado	1	Si: Todo trabaja con electricidad
Disponibilidad de repuestos en plaza	2	No: Equipo de bombeo	1	No: Equipo de bombeo y otros
Costo de operación y mantenimiento	2	MEDIO: Poca mecanizacion	1	ALTO: Mecanizacion completa
El agua tratada se puede utilizar para riego	3	Si: Plantas ornamentales y pastizales	3	Si: Plantas ornamentales y pastizales
Experiencia Local	3	NO	3	NO
Mayor es mejor	17		13	


 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO CIVIL
 CIP 41645


 Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57959


 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 41645

 ALFREDO POMA SAMANEZ
 ING. CIVIL
 CIP 78946

Anexo 11 – Tabla de ponderación (Estudio caso)

Factor Evaluado	Comentarios del Evaluador	Pond.del Evaluador
Aplicabilidad del proceso	Por las características del proyecto, se encuentran diferencias sin embargo estas diferencias no favorecerán a alguna tecnología.	5
Generación de Residuos	Se favorece al proceso que genere menos residuos ya que no se cuenta con relleno sanitario.	10
Aceptación por parte de la comunidad	La población al desconocer las tecnologías a usarse, no muestran preferencia por lo que no se calificara.	0
Generación de subproductos con valor económico o de uso	Es importante que la tecnología a elegir permita generar beneficios económicos o de uso, y así lograr mayor aceptación.	10
Vida útil	Los recursos de inversión son escasos por lo que la vida útil deberá ser lo más prolongada posible.	5
Requerimiento del área	Al considerar dos procesos compactos este rubro no puede tener calificación.	0
Costo	<p>El costo de Inversión muchas veces es determinante en la selección de una tecnología, sin embargo se buscara costos bajos para la calidad de agua que se necesita</p> <p>El costo de Operación y mantenimiento es de suma importancia ya que serán incluidos en las tarifas que pagarán los habitantes y que puede marcar una diferencia entre una y otra tecnología.</p> <p>Los costos de energía que se utilizarán son un factor decisivo en la toma de decisiones, asimismo el costo de personal constante (especializado) trabajando en la planta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se asigna un valor alto a los costos, debido a la gran importancia que tienen en las finanzas de la Urbanización 	35
Diseño y construcción	Es importante la experiencia, los criterios de Diseño y la complejidad de la tecnología.	10
Operación	La operación al ser una función diaria, se favorecera a la tecnología que sea simple, flexible y poca capacitación.	20
Entorno e impacto ambiental	La planta que armonice mejor con el ambiente, tendrá mayor impacto visual.	5



Marco A. Burgos Quiñones
INGENIERO CIVIL
CIP 41645



Marco A. Burgos Quiñones
INGENIERO AMBIENTAL
CIP 41645



ALFREDO POMA SAMANEZ
ING. CIVIL
CIP 78846



Marcelino M. Ramirez De la Cruz
INGENIERO SANITARIO
CIP 57969

Anexo 12 – Tabla de calificación (Estudio caso)

Factos Evaluado	Comentarios del Evaluador	Calif.	Calif.
		USAB + Filtro	Lodos + USAB
Aplicabilidad del proceso	Ambo procesos son conocidos y aplicables a la realidad de Huancayo. Ambos procesos cumpliran las condiciones de descarga, pero los USAB + lodos activados pueden obtener mejor calidad.	3	5
Generacion de residuos	USAB + LA siempre generan más residuos	5	3
Aceptacion por parte de la comunidad		5	5
Generacion de subproductos con valor economico o de uso	Ambo procesos son adecuados.	5	5
Vida util	USAB + LA tienen una vida más corta que UAO + FP	5	3
Requerimiento de area	USAB + LA ocupan más área de terreno horizontal.	5	3
Costo de Inversion Inicial	Al requerirse mayor terreno es mayor el costo de inversión.	5	3
Costo de operación y mantenimiento	Los USAB + LA tienen una mayor complejidad operativa por lo que incrementan sus costos.	5	3
Criterios de diseño	Los USAB + LA tienen más tiempo por lo que son más confiables.	3	5
Experiencia del contratista	Se ha trabajado con lodos activados más no con Filtros Percolados	1	5
Tecnologia ampliamente probada		1	5
Complejidad de construccion y equipamiento	Los sistemas que incluyen lodos activados requieren más especialidad.	5	1
Flexibilidad de la operación	El sistema de USAB + FP es más flexible a la realidad que presenta el saneamiento en Huancayo.	5	3
Confiabilidad del proceso	El sistema de lodos activados tiene más años en el mercado.	3	5
Complejidad de operación del proceso	Los lodos activados son procesos más complicados.	3	1
Requerimiento de personal	Un sistema menos complejo y con menos área requiere menos personal	5	1
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	Por la complejidad	5	1
Influencia de la temperatura		5	5
Produccion de ruido	Por las máquinas	5	3
Contaminacion visual		5	5
Produccion de malos olores	Los sistemas USAB producen malos olores	1	5
Huella de carbono		5	3
Animales dañinos		5	5




 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO CIVIL
 CIP 41645




 Marco A. Burgos Quiñones
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 41645

Anexo 13 – Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)

	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO:UASB+FILTRO PERCOLADOR RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
#	%				
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	3	0.6	3
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	5	1	10
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	5	1	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	5	1	10
5	5	VIDA ÚTIL	5	1	5
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	5	1	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	5		
7.2		Operación y mantenimiento	5		
7.3				1	35
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	3		
8.2		Experiencia	1		
8.3		Tecnología ampliamente probada	1		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5		
8.5				0.5	5
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	5		
9.2		Confiabilidad del proceso	3		
9.3		Complejidad de operación del proceso	3		
9.4		Requerimiento de personal	5		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5		
9.6				0.84	16.8
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	5		
10.2		Producción de ruido	5		
10.3		Contaminación visual	5		
10.4		Producción de malos olores	1		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	5		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.87	4.3
11	100				89.13




Marco A. Burgos Quiñones
INGENIERO CIVIL
CIP 41645





Marco A. Burgos Quiñones
INGENIERO AMBIENTAL
CIP 41645

Anexo 14 – Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)

#	%	PROCESO EVALUADO: UASB+Lodos Activados RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	3	0.6	6
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	5	1	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	5	1	10
5	5	VIDA ÚTIL	3	0.6	3
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	3	0.6	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	3		
7.2		Operación y mantenimiento	3		
7.3				0.6	21
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	5		
8.2		Experiencia	5		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	1		
8.5				0.8	8
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	3		
9.2		Confiabilidad del proceso	5		
9.3		Complejidad de operación del proceso	1		
9.4		Requerimiento de personal	1		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	1		
9.6				0.44	8.8
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	5		
10.2		Producción de ruido	3		
10.3		Contaminación visual	5		
10.4		Producción de malos olores	5		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	3		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.87	4.3
11	100				66.13



 Marco A. Bergos Quiñones
 INGENIERO CIVIL
 CIP 41645



 Marco A. Bergos Quiñones
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 41645

Anexo 15 – Tabla de calificación (Estudio caso)

Factos Evaluado	Comentarios del Evaluador	Calif.	Calif.
		USAB + Filtro	Lodos activados
Aplicabilidad del proceso	Cualquier proceso o tratamiento de aguas residuales puede usarse conociendo las características propias del terreno, población, destino, etc.	5	5
Generación de residuos	UASB + Filtro percolador produce residuos en menor cantidad que UASB + Lodos activados	5	2
Aceptación por parte de la comunidad	Por experiencia siempre se presentan dificultades	4	1
Generación de subproductos con valor económico o de uso	Para el reuso o venta de los subproductos se presentan problemas en el ámbito legal así como económico.	1	1
Vida útil	Procesos debidamente construidos, operados y mantenidos tienen una vida útil correcta.	5	5
Requerimiento de área	No es decisivo entre dos tecnologías similares.	4	1
Costo de inversión inicial	El costo de inversión dependerá del diseño final de cada proceso, la decisión es en base al área y materiales	5	4
Costo de operación y mantenimiento	Los procesos tienen costos aceptables que disminuyen al usar procesos acoplados	5	5
Criterios de diseño	La información del diseño hoy es amplia para ambas tecnologías.	5	5
Experiencia del contratista	La experiencia con lodos activados es mayor	2	4
Tecnología ampliamente probada	La experiencia con lodos activados es mayor	2	4
Complejidad de construcción y equipamiento	Al ser procesos acoplados son innovadores lo que requiere una complejidad alta	4	4
Flexibilidad de la operación	Filtro acepta variaciones de caudal bruscas, el UASB + lodos no.	5	3
Confiabilidad del proceso	La confiabilidad está relacionada a la construcción, operación y mantenimiento correctos.	5	5
Complejidad de operación del proceso	Para la operación, el personal debe ser netamente especializado.	5	3
Requerimiento de personal	Para la operación, el personal debe ser netamente especializado	5	3
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio		5	5
Influencia de la temperatura	Lodos activados trabajan mejor ante variaciones de temperatura	3	5
Producción de ruido	Los procesos automáticos y manuales producen sonido en lodos activados más que en filtros.	5	3
Contaminación visual	Esta relacionado al diseño final	4	4
Producción de malos olores	Hay diseños que pueden aumentar o disminuir los olores para cada proceso.	4	4
Huella de carbono		5	3
Animales dañinos		5	5




 Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57959

Anexo 16 – Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)

	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO:UASB+FILTRO PERCOLADOR RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0=no aplica 1=deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
#	%				
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	5	1	10
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	1	0.2	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	1	0.2	2
5	5	VIDA ÚTIL	5	1	5
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	1	0.2	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	5		
7.2		Operación y mantenimiento	5		
7.3				1	35
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	5		
8.2		Experiencia	2		
8.3		Tecnología ampliamente probada	2		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	4		
8.5				0.65	6.5
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	5		
9.2		Confiabilidad del proceso	5		
9.3		Complejidad de operación del proceso	5		
9.4		Requerimiento de personal	5		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5		
9.6				1	20
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	3		
10.2		Producción de ruido	5		
10.3		Contaminación visual	4		
10.4		Producción de malos olores	4		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	5		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.87	4.3
11	100				87.83




 Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57969

Anexo 17 - Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)

	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO:UASB+LODOS ACTIVADOS RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
#	%				
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	2	0.4	4
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	1	0.2	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	1	0.2	2
5	5	VIDA ÚTIL	5	1	5
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	1	0.2	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	4		
7.2		Operación y mantenimiento	5		
7.3				0.9	31.5
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	5		
8.2		Experiencia	4		
8.3		Tecnología ampliamente probada	4		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	4		
8.5				0.85	8.5
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	3		
9.2		Confiabilidad del proceso	5		
9.3		Complejidad de operación del proceso	3		
9.4		Requerimiento de personal	3		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5		
9.6				0.76	15.2
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	5		
10.2		Producción de ruido	3		
10.3		Contaminación visual	4		
10.4		Producción de malos olores	4		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	3		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.80	4
11	100				75.20




 Marcelino M. Ramirez De la Cruz
 INGENIERO SANITARIO
 CIP 57969

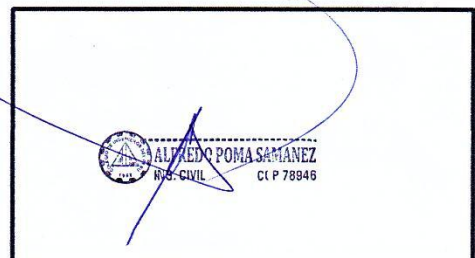
Anexo 18 – Tabla de calificación (Estudio caso)

Factos Evaluado	Comentarios del Evaluador	Calif.	Calif.
		USAB + Filtro	Lodos activados
Aplicabilidad del proceso	Los dos procesos han sido aplicados en el ámbito mundial y nacional con éxito, y se podrían adecuar a la realidad de Huancaayo.	5	5
Generación de residuos	Un proceso de lodos activados siempre genera más lodos.	5	1
Aceptación por parte de la comunidad	Al obtener beneficios ambos procesos no deben tener problemas de aceptación.	5	5
Generación de subproductos con valor económico o de uso	Si se propone el reúso de los lodos, el proceso de lodos activados genera mayores beneficios económicos.	1	5
Vida útil	El filtro percolador es un proceso más delicado al factor climatológico	4	5
Requerimiento de área	Los lodos activados requieren un porcentaje de área mayor	5	2
Costo de inversión inicial	Según experiencia el proceso de lodos activados es de costo elevado.	5	3
Costo de operación y mantenimiento		5	3
Criterios de diseño	Los procesos acoplados se usan más hoy en día, con los filtros	4	3
Experiencia del contratista	Experiencia previa con lodos activados, no con reactores	1	5
Tecnología ampliamente probada	Proceso de lodos cuenta con más años en el ámbito de saneamiento.	2	5
Complejidad de construcción y equipamiento	Los reactores y filtros presentan procesos más simples.	4	2
Flexibilidad de la operación	El proceso de reactor más filtro acepta variaciones de caudal	5	2
Confiabilidad del proceso	Por los años en el ámbito de aguas residuales	4	5
Complejidad de operación del proceso	Los lodos activados presenta procesos especializados	3	2
Requerimiento de personal	Debido a la complejidad de operación	4	2
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	Los procesos complejos y nuevos requieren repuestos nuevos en el mercado.	3	2
Influencia de la temperatura	El clima en general afecta a los filtros	4	5
Producción de ruido	Las operaciones realizadas en lodos activados producen ruido	5	2
Contaminación visual	Las operaciones realizadas en lodos activados impiden diseños visualmente agrada	5	2
Producción de malos olores	Las operaciones realizadas en lodos activados producen malos olores	5	2
Huella de carbono		5	3
Animales dañinos		5	5


ALFREDO POMA SAMANEZ
 ING. CIVIL P 78946

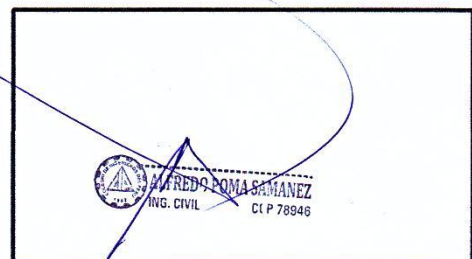
Anexo 19 - Matriz de decisión Uasb + filtro percolador (Estudio caso)

	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO:UASB+FILTRO PERCOLADOR RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
#	%				
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	5	1	10
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	5	1	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	1	0.2	2
5	5	VIDA ÚTIL	4	0.8	4
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	5	1	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	5		
7.2		Operación y mantenimiento	5		
7.3				1	35
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	4		
8.2		Experiencia	4		
8.3		Tecnología ampliamente probada	2		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	4		
8.5				0.55	5.5
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	5		
9.2		Confiabilidad del proceso	4		
9.3		Complejidad de operación del proceso	3		
9.4		Requerimiento de personal	4		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	3		
9.6				0.76	15.2
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	4		
10.2		Producción de ruido	5		
10.3		Contaminación visual	5		
10.4		Producción de malos olores	5		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	5		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.97	4.8
11	100				81.53



Anexo 20 - Matriz de decisión Uasb + lodos activados (Estudio caso)

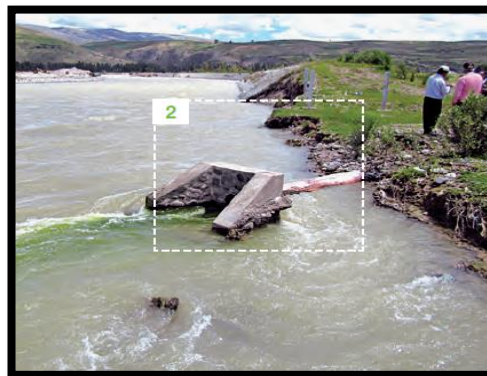
	A	B	C	D	E
		PROCESO EVALUADO:UASB+LODOS ACTIVADOS RUBROS EVALUADOS	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno		
#	%				
1	5	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10	GENERACIÓN DE RESIDUOS	1	0.2	2
3	0	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	5	1	0
4	10	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSO	5	1	10
5	5	VIDA ÚTIL	5	1	5
6	0	REQUERIMIENTO DE ÁREA	2	0.4	0
7	35	COSTO			
7.1		Inversión	3		
7.2		Operación y mantenimiento	3		
7.3				0.6	2.1
8	10	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1		Criterios de diseño	3		
8.2		Experiencia	5		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	2		
8.5				0.75	7.5
9	20	OPERACIÓN			
9.1		Flexibilidad de operación	2		
9.2		Confiabilidad del proceso	5		
9.3		Complejidad de operación del proceso	2		
9.4		Requerimiento de personal	2		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	2		
9.6				0.52	10.4
10	5	ENTORNO			
10.1		Influencia de la temperatura	5		
10.2		Producción de ruido	2		
10.3		Contaminación visual	2		
10.4		Producción de malos olores	2		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	3		
10.6		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7				0.63	3.2
11	100				64.07



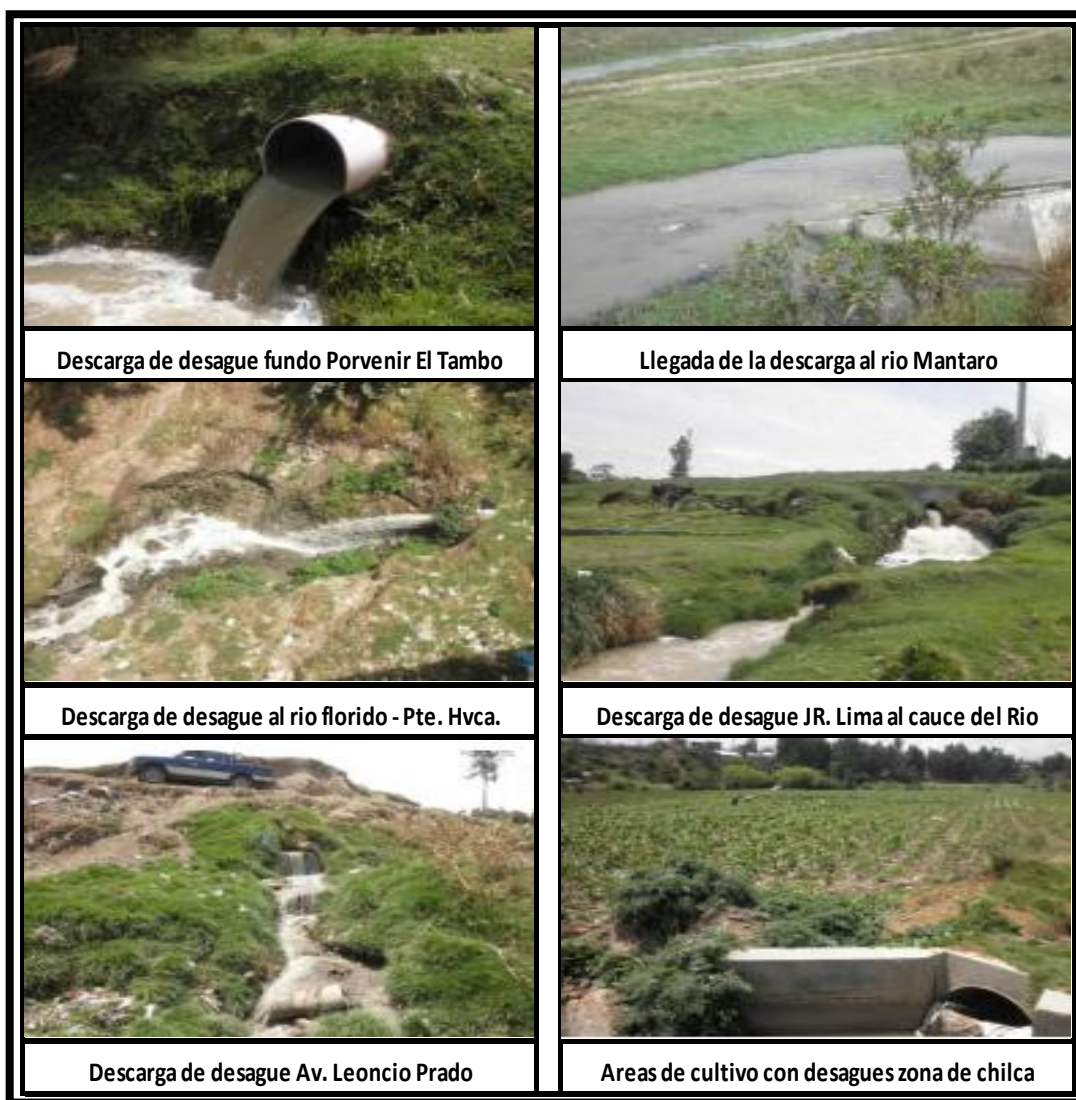
Anexo 21 – Panel fotográfico



Fotografía 1. Estructura erosionada selva central.



Fotografía 2. Tubería destruida sierra central.



Fotografía 3. Descargas del agua residual en la ciudad de Huancayo



Fotografía 4. Antes y después de Urbanización La Planicie – Estudio Caso.