



Guía técnica para REÚSO MUNICIPAL de AGUAS RESIDUALES TRATADAS en el riego de áreas verdes de Lima Metropolitana



Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana

Autoridad Nacional del Agua – ANA
Ing. Walter Obando Licera
Jefe de la Autoridad Nacional del Agua

©Cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Proyecto Adaptación de la Gestión de los Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado – ProACC
Responsable: Hans-Werner Theisen
Av. Prolongación Arenales 801
Miraflores, Lima, Perú
T +51 1 4229067
www.giz.de/peru

Editado por

©Autoridad Nacional del Agua - ANA
Calle Diecisiete N° 355, Urb. El Palomar
San Isidro, Lima, Perú
T +51 1 224 3298
www.ana.gob.pe

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2018-18800
ISBN N° 978-612-4273-23-0

Tiraje

250 ejemplares
Primera edición
Lima, diciembre de 2018

Se terminó de imprimir en diciembre de 2018 por

VERTICE CONSULTORES GRAFICOS S.A.C.
RUC: 20513635746
Dirección: AV. Boulevard N° 1040, Urb. El Artesano, Ate, Lima
vertice@verticeperu.com

Diseño y diagramación

María Carla Moncada Mejía (Cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la GIZ)

Revisión, coordinación y edición de contenido

Carmen Yupanqui Zaa, Gary Pascual Cucho, Juan Carlos Castro Vargas (ANA-DCERH)
Stephan Dohm, Jorge Benites Agüero, Catherine Cardich Salazar, Macneill Balboa Guerra (ProACC)
Valia Herrera Burstein (adecuación pedagógica)

Texto

Juan Pablo Méndez

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación, bajo la condición de que se cite la fuente.

Contenido

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

COMO ESTÁ ORGANIZADA LA GUÍA

SECCIÓN I:

Importancia del tratamiento de aguas residuales con fines de reúso en riego de áreas verdes

CAPÍTULO 1: LIMA: UNA CIUDAD CON ESCASEZ HÍDRICA

CAPÍTULO 2 : DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO DE ÁREAS VERDES

CAPÍTULO 3: OFERTA ACTUAL DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN LIMA METROPOLITANA

3.1 Oferta de aguas residuales tratadas en las PTARs de SEDAPAL

3.2 Sistemas municipales de tratamiento de Aguas Residuales en Lima Metropolitana

3.2.1 Cronología de inversiones en Sistemas Municipales de Tratamiento

3.2.2 Distribución de las plantas de tratamiento según tipo de sistema de depuración

3.2.3 Distribución de las plantas de tratamiento en función de la capacidad de tratamiento

SECCIÓN II:

Aspectos técnicos del tratamiento de aguas residuales

CAPÍTULO 4: CONCEPTOS IMPORTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1 Objetivos de calidad de aguas residuales tratadas destinadas al reúso en riego de áreas verdes

4.1.1 Aptitud microbiológica

4.1.2 Aptitud físico-química

4.2 Sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales y su clasificación

CAPÍTULO 5 : PRINCIPALES PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

5.1 Procesos de Tratamiento Intensivo

5.2 Procesos de Tratamiento Extensivos

5.3 Principales criterios de selección de procesos de tratamiento

CAPÍTULO 6: SISTEMAS MUNICIPALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTES EN LIMA METROPOLITANA (ESTUDIOS DE CASO)

SECCIÓN III:

Aspectos económico-financieros y mecanismos de Asociación Público Privada (APP)

CAPÍTULO 7: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO

vi	7.1 Análisis de viabilidad del reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de las áreas verdes municipales	49
vii		
viii	7.1.1 Costo de agua residual cruda o tratada	52
ix	7.2 Evaluación económica para seleccionar la alternativa de tratamiento	52
	7.2.1 Nivel de complejidad y tipo de estudios de preinversión	53
	7.2.2 Costos de inversión, operación y mantenimiento y otros	53
	7.2.3 Evaluación Económica de Alternativas	54
2		
4	7.3 Estructuración Financiera del Proyecto	55
10		
10	CAPÍTULO 8: ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA (APP) COMO MECANISMO DE FINANCIAMIENTO	
11	8.1 Marco legal para las APP	57
12	8.2 Requerimientos para un proyecto de APP para PTAR Municipal	57
13	8.2.1 La clasificación de la APP	57
14	8.2.2 Plazos y monto mínimo de inversión de una APP	57
	8.3 Pasos para una APP Cofinanciada	58

SECCIÓN IV:

Aspectos Normativos para el reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes

19	CAPÍTULO 9: Marco normativo aplicable al reúso de las aguas residuales tratadas	
19	9.1. Políticas	66
20	9.2 Normas de referencia para la evaluación de calidad de los afluentes y efluentes de las PTARs	67
20		
21	9.3 Normatividad técnica para el diseño de PATRs y reaprovechamiento de lodos	68
24	9.4 Normatividad para la obtención de la Autorización de Reúso de aguas residuales tratadas	68
26	9.4.1 Tipos de procedimientos y requisitos para la obtención de la autorización de reúso	69
36	9.4.2 Flujograma del procedimiento administrativo	70
40		

SECCIÓN V:

Evaluación y Plan de implementación de un proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales

44	CAPÍTULO 10: EVALUACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: ESTUDIO DE CASO	74
49	Paso 1. Sustentar la necesidad del proyecto	74
	Paso 2. Determinar la demanda de riego	76

- Paso 3. Determinar las posibles ubicaciones de los sistemas de tratamiento
- Paso 4. Estimar el área necesaria para la PTAR
- Paso 5. Estimar el Costo de Inversión (CAPEX) y Operación y Mantenimiento (OPEX)
- Paso 6. Estimar la Retribución al Concesionario Privado en caso de APP
- Paso 7. Elegir el mecanismo para la inversión en el Proyecto e implementarlo

CAPÍTULO 11: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

BIBLIOGRAFÍA

LINKS ÚTILES

76	ANEXOS	
77	Anexo 1: Estudios de Caso	93
78	Anexo 2: Aspectos clave para dimensionamientos de Sistemas de tratamiento de aguas residuales	99
78	Anexo 3: Reúso y disposición de Lodos de PTARs	116
80	Anexo 4: Datos Útiles para la estructuración Financiera de un APP	131
82	INDICE DE CUADROS	
	Cuadro 1 Escenarios respecto a áreas que pueden ser habilitadas como áreas verdes	7
88	Cuadro 2. Sistemas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales para Riego de Áreas Verdes	12
89		
	INDICE DE FIGURAS	
	Figura 1. Disponibilidad de agua per cápita	2
	Figura 2. Oferta / demanda de agua y escasez hídrica	3
	Figura 3. Fuentes de agua para el riego de áreas verdes en Lima	4
	Figura 5. Variación de la demanda con el cambio a sistemas más eficientes	6
	Figura 6. Demanda del recurso hídrico proyectada al 2035 con fines de riego de áreas verdes	9
	Figura 7. Estado del Tratamiento, Reúso y Disposición Final de las Aguas Residuales recolectadas por SEDAPAL	10
	Figura 8. Oferta de aguas residuales con tratamiento secundario producidas por SEDAPAL (año 2014)	11
	Figura 9. Cronología de Adjudicaciones	12
	Figura 10. Cronología de Inicio de Operación	13
	Figura 11. Tecnologías de plantas de tratamiento municipales con fines de reúso	13
	Figura 12. Ubicación geográfica de las plantas de tratamiento municipales existentes con fines de reúso en riego de áreas verdes según su capacidad de tratamiento	14
	Figura 13. Sistemas de tratamiento de aguas residuales	21
	Figura 14. Esquema conceptual de un reactor biológico	25

Figura 15. Criterios de selección del proceso de tratamiento de AR con fines de reúso en riego de áreas verdes	40	Tabla 6. Normas de la EPA para evaluar el riesgo de salinización de suelo	21
Figura 16. Flujo para la selección de procesos de tratamiento en función de la disponibilidad de terreno	41	Tabla 7. Sistemas y procesos de tratamiento de Aguas Residuales para riego de áreas verdes	23
Figura 17. Tipos de procesos de tratamiento en sistemas Municipales de Lima Metropolitana (2016)	44	Tabla 8. Sistemas y procesos de tratamiento de Aguas Residuales para riego de áreas verdes	27
Figura 18. Descripción de los procesos de tratamiento en sistemas municipales de Lima Metropolitana (2016)	44	Tabla 9. Eficiencias de remoción de los principales procesos de tratamiento	42
Figura 19. Descripción de costos asociados a cada alternativa	51	Tabla 10. Eficiencia y principales características en procesos de Lodos Activados	42
Figura 20. Ciclo de las inversiones según Invierte.pe	52	Tabla 11. Nivel de estudio según tipología de proyecto	53
Figura 21. CAPEX y OPEX	53	Tabla 12. Costos directos para estimación paramétrica de presupuestos de proyectos de sistema de tratamiento de aguas residuales municipales según opción tecnológica	54
Figura 22. Costos para un Proyecto PTAR con fines de reúso en riego de áreas verdes	54	Tabla 13. Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento del Proyecto	78
Figura 23. Valor presente relativo de diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales	55	Tabla 14. Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento de la APP	79
Figura 24. Estructuración Financiera posible para la implementación una PTAR con fines de reúso en riego de áreas verdes	56	Tabla 15. Flujo de Caja del Inversionista (simplificado)	80
Figura 25. Clasificación del mecanismo de asociación público privada (APP)	58	Tabla 16. Ponderación de Criterios de Elegibilidad del Proyecto como APP	81
Figura 26. Pasos para una APP Cofinanciada	60		
Figura 27. Mapa 1 del Distrito de Comas	74		
Figura 28. Mapa 2 del Distrito de Comas	77		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demanda de agua para riego de áreas verdes en Lima Metropolitana con sistemas de riego más eficientes (2014)	5
Tabla 2. Demanda de agua para riego de áreas verdes proyectadas al 2035 en Lima Metropolitana	8
Tabla 3. Directrices recomendadas por la OMS (1989) sobre calidad microbiológica del agua para reúso en riego	20
Tabla 4. Aptitud microbiológica requerida para agua residual tratada con fines de reúso en riego de áreas verdes	20
Tabla 5. Normas de la EPA para el riego tecnificado en parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos	21

Siglas y Acrónimos

ACC	Adaptación al Cambio Climático	MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
AGNAR	Attached Growth Airlift Reactor	MINAM	Ministerio del Ambiente
ANA	Autoridad Nacional del Agua	MML	Municipalidad Metropolitana de Lima
APP	Asociación Público Privada	MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
A.R.	Aguas Residuales	NMP	Número más probable.
AV	Áreas Verdes	OMS	Organización Mundial de la Salud
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	OPS	Organización Panamericana de la Salud
BMBF	Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania	OPEX	Operating Expenses
BMZ	Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania	PEAIE	Plan de Espacios Abiertos e Infraestructura Ecológica de la MML
CF	Coliformes fecales	PLAM 2035	Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano Lima-Callao al año 2035
CAF	Corporación Andina de Fomento	PMI	Programación Multianual de Inversiones
CAPEX	Capital Expenditure	PROACC	Proyecto Adaptación de la Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PROINVERSIÓN	Agencia de Promoción de la Inversión Privada- Perú
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental	PROVISUR	Provisión de Servicios de Saneamiento para Distritos del Sur de Lima
DQO	Demanda Química de Oxígeno al quinto día	PSP	Participación del Sector Privado
EMAPE	Empresa Municipal de Peajes de Lima	PTAR(s)	Planta(s) de Tratamiento de Aguas Residuales
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento	PZ	Parque Zonal
EPA	Environmental Protection Agency	RAS	Relación de Absorción de Sodio
GIRH	Gestión Integral de Recursos Hídricos	RRHH	Recursos Hídricos
GIZ	Cooperación Alemana para el Desarrollo	SBR	Sequencing Batch Reactor
HBC	Hanging Bio Contactor	SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
HH	Huevos de Nemátodos Intestinales	SERPAR	Servicio de Parques de Lima
IEC	Iniciativa Estatal Cofinanciada	SMM	Santa María del Mar
IP	Iniciativa Privada	SST	Sólidos Suspendidos Totales
IPA	Iniciativa Privada Autosostenible	STD	Sólidos Totales Disueltos
IPC	Iniciativa Privada Cofinanciada	SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
KfW	Banco de Fomento Alemán	UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
LiWa	Lima Water Project	VMA	Valores Máximos Admisibles
MBR	Membrane Biological Reactor	VP	Valor presente
MBBR	Moving Bed Biological Reactor		

Presentación

La Autoridad Nacional del Agua es el ente rector y máxima autoridad técnica y normativa del Sistema Nacional de Recursos Hídricos en el Perú. Tiene competencias sobre el uso y la gestión de las aguas residuales en virtud a lo establecido en la Ley N°29338: Ley de Recursos Hídricos ya que la incluye como agua materia de regulación en su artículo 5. Por su parte, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH) cumple las funciones específicas respecto a la regulación de autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas que generan vertimientos a cuerpos naturales de agua y reuso de aguas de aguas residuales tratadas.

En el año 2014, la Autoridad Nacional del Agua, en el marco de sus competencias en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, firma el convenio interinstitucional con la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la GIZ, para la implementación del Proyecto “Adaptación de la Gestión de los Recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado – ProACC”, con la finalidad de promover el aprovechamiento de aguas residuales tratadas como medida de adaptación al cambio climático y medio para el uso eficiente del recurso hídrico a nivel de las cuencas del río Rímac, Chillón, Lurín.

En el ámbito de las cuencas en mención, la presente guía plantea el reúso como una alternativa para las municipalidades distritales, debido a sus múltiples beneficios en el ámbito económico, ambiental y social, dado que favorece el uso eficiente de recurso hídrico; representa una fuente de agua más barata respecto a las tarifas de agua potable usada en riego; libera recursos hídricos superficiales que pueden destinarse a fines poblacionales y de sustento de ecosistemas. También, permite el incremento de superficie de área verde por habitante a niveles recomendados por la Organización Mundial para la Salud para ciudades sustentables y puede implementarse como medida de adaptación al cambio climático.

El reúso de aguas residuales tratadas es el tema central de ésta guía técnica. Los capítulos giran en torno aspectos normativos, técnicos, económicos y financieros sobre el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales tratadas con fines de riego de parques y áreas verdes. Cabe resaltar que el eficiente tratamiento de las aguas residuales municipales se sustenta en la selección de opciones tecnológica apropiadas y prácticas adecuadas de operación y mantenimiento que garanticen el cumplimiento de las normas de calidad aplicables, que aportan en gran medida a la gestión integrada de los recursos hídricos.

Mediante esta guía técnica, la Autoridad Nacional del Agua y el Proyecto ProACC ponen a disposición de los municipios distritales, información clave para la toma de decisiones respecto a la implementación de plantas compactas de tratamiento de aguas residuales municipales, con capacidad de producir efluentes con una aceptable aptitud fisicoquímica y microbiológica para ser reusadas en el riego de parques y áreas verdes, sin poner en riesgo la salud pública.

Introducción

Las Naciones Unidas (UNESCO, 2005) ha establecido el valor 1 700 m³/hab/año como el umbral mínimo del “índice de escasez de agua intermitente o localizada” debajo del cual se define un estado de **“Estrés Hídrico”**. De la misma manera, el valor de 1 000 m³/hab/año es el umbral del “índice de escasez de agua crónica” que determina una situación de **“Escasez Hídrica”**. De acuerdo a estos valores, el Perú ocupa el puesto 17 de disponibilidad de agua per cápita, de un total de 180 países en el Mundo con una disponibilidad media nacional de 64 000 m³/hab/año. La disponibilidad de agua per cápita en la cuenca del río Amazonas representa aproximadamente tres veces la media nacional; sin embargo, la situación es radicalmente diferente en la Vertiente del Pacífico Peruano. Mientras que la disponibilidad media alcanza apenas 1 800 m³/hab/año en esta vertiente, en las cuencas Chillón-Rímac-Lurín es 125 m³/hab/año. La disponibilidad media en estas cuencas representa entonces la octava parte (1/8) del umbral del “índice de escasez de agua crónica”, lo cual refleja una franca situación de escasez hídrica en Lima Metropolitana.

Recientes estudios sobre los impactos del cambio climático (LiWA, 2011) y la disponibilidad de agua en Lima Metropolitana (SEDAPAL, 2013) revelan probables escenarios de crisis de agua en Lima y Callao, bajo las hipótesis de un crecimiento sostenido de la demanda agua para uso poblacional y productivo y no se implementan mejoras en las eficiencias de uso o reúso de agua. Tales escenarios señalan también la probable sobre explotación del acuífero de Lima, que podría agudizarse en las próximas décadas en caso de que no se implementen medidas que aseguren el aprovechamiento sostenible de las aguas subterráneas.

El Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ) ha encargado a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) colaborar con la Autoridad Nacional del Agua para implementar el proyecto “Adaptación de la gestión de los recursos hídricos en zonas urbanas al cambio climático con la participación del sector privado” – PROACC, que promueve la participación conjunta de actores públicos y privados, y de la sociedad civil, en la gestión de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín a fin de asegurar el suministro de agua en Lima Metropolitana.

A fin de promover el reúso de aguas residuales tratadas como una medida de adaptación al cambio climático, PROACC realizó un diagnóstico de 33 municipios distritales de Lima para evaluar y sistematizar las experiencias y requerimientos de reúso de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes. Este diagnóstico permitió identificar la preocupación creciente de los municipios distritales ante la escasez de agua y su consecuente interés en la sustitución del uso de agua potable, aguas superficiales y aguas subterráneas para riego de áreas verdes por las aguas residuales tratadas. Asimismo se constató un déficit de áreas verdes debido a las limitaciones de acceso a fuentes de agua.

Los Gobiernos Locales de Lima Metropolitana han expresado su interés en las posibilidades de reúso de aguas residuales tratadas, pero reconocen tener poca información y conocimientos para conceptualizar y elaborar un proyecto de tratamiento y reúso de aguas residuales. En este contexto se ha desarrollado la presente “Guía Técnica de Sistemas Municipales de Reúso de Aguas Residuales para el Riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana” como un instrumento relevante de consulta para los Gobiernos Locales de Lima y Callao.

La presente guía está dirigida a funcionarios municipales tomadores de decisiones. Pretende ser un instrumento de consulta durante la conceptualización, formulación e implementación de sistemas de reúso de las aguas residuales domésticas y municipales, las cuales vienen siendo impulsadas desde las políticas de estado, como un mecanismo de adaptación al cambio climático en lima metropolitana.

¿Cómo está organizada la Guía?



El documento se divide en cuatro (4) secciones. **La primera sección** describe la importancia que tiene el uso de nuevos sistemas de riego, en especial los que implican el reúso de aguas residuales, en el ahorro de los recursos hídricos. El usuario de la Guía tendrá acceso a información sobre la escasez hídrica que sufre la ciudad de Lima, así como una breve descripción de la demanda de agua para riego de áreas verdes y de la oferta actual de agua residual tratada en Lima Metropolitana.

La segunda sección presenta los aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo los procesos de tratamiento de aguas residuales. El lector identificará parámetros clave que garantizan la calidad del agua tratada y conocerá los principales procesos de tratamiento de las aguas residuales, tanto intensivo como extensivo.

Esta sección culmina con un análisis de los principales tratamientos utilizados por las PTAR de Lima Metropolitana (el lector encontrará además información completa sobre un estudio de caso en la sección de anexos).

La tercera sección presenta los principales aspectos económicos y financieros, así como los mecanismos de Asociación Pública Privada (APP) que permiten implementar proyectos de tratamiento de aguas residuales para el riego de áreas verdes. En la sección de anexos, se presentan, también, los aspectos legales.

La cuarta sección, presenta aspectos normativos aplicables al reúso de las aguas residuales tratadas, con enfoque en el riego de áreas verdes y las autorizaciones otorgadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) quien es el ente rector en temas de gestión de los recursos hídricos.

Finalmente, **la quinta sección**, presenta los pasos para realizar la evaluación y el diseño del plan de implementación de un proyecto de planta de tratamiento de aguas residuales, ilustrado con un ejemplo.



I SECCIÓN	IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES DE REÚSO EN RIEGO DE ÁREAS VERDES	CAPÍTULO 1. Lima: una ciudad con escasez hídrica CAPÍTULO 2. Demanda de agua para riego de áreas verdes CAPÍTULO 3. Oferta actual de agua residual tratada en Lima Metropolitana
II SECCIÓN	ASPECTOS TÉCNICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES	CAPÍTULO 4. Conceptos importantes en el tratamiento de agua residuales CAPÍTULO 5. Principales procesos de tratamiento biológico de aguas residuales CAPÍTULO 6. Sistemas Municipales de tratamiento de aguas residuales existentes en Lima Metropolitana (Estudios de Caso)
III SECCIÓN	ASPECTOS ECONÓMICO-FINANCIEROS Y MECANISMOS DE ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA (APP)	CAPÍTULO 7. Evaluación Económica y Financiera del Proyecto CAPÍTULO 8. Asociación Público Privada (APP) como mecanismo de financiamiento
IV SECCIÓN	ASPECTOS NORMATIVOS PARA EL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES	CAPÍTULO 9. Marco normativo aplicable al reúso de las aguas residuales tratadas
V SECCIÓN	EVALUACIÓN Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES	CAPÍTULO 10. Evaluación para la formulación de un proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales: estudio de caso CAPÍTULO 11. Plan de implementación de un proyecto de planta de tratamiento de aguas residuales

SECCIÓN I

Importancia del tratamiento de aguas residuales
con fines de reúso en riego de áreas verdes



Preguntas clave:

- ¿Sabías que ante el escenario de **escasez hídrica** que vive la ciudad de Lima, se puede sustituir las aguas superficiales por agua residual tratada en el riego de áreas verdes de Lima Metropolitana?
- ¿Sabías que el tratamiento de las aguas residuales municipales, recolectadas por el sistema de alcantarillado de SEDAPAL, puede ser una opción de **menor costo** para atender la demanda de agua en el riego de áreas verdes en Lima Metropolitana?

Al finalizar la sección,

Comprenderás la importancia que tiene el uso de nuevos sistemas de riego, en especial los que implican el reúso de aguas residuales, en el ahorro de los recursos hídricos.



Contenido



CAPÍTULO 1.

LIMA: UNA CIUDAD CON ESCASEZ HÍDRICA

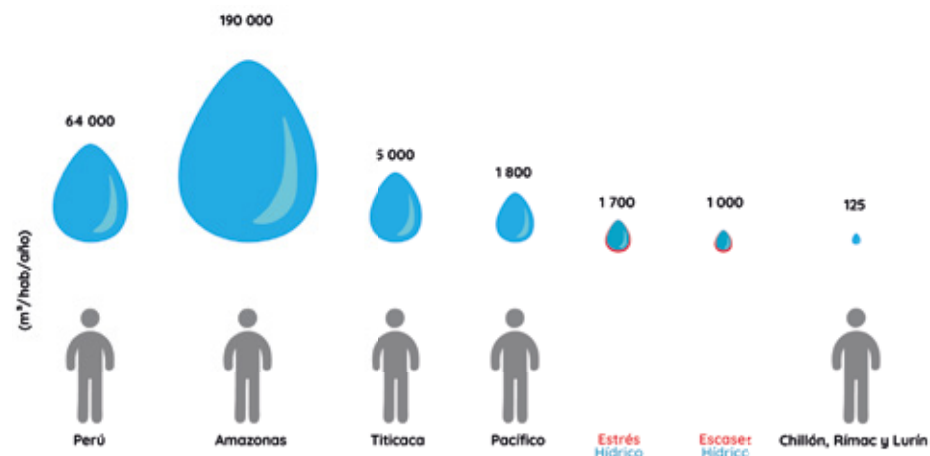
Lima Metropolitana utiliza las fuentes de agua de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín. Alberga a 10 millones de personas y, en ella, se genera al menos el 50% del PBI nacional, principalmente en los sectores de industria y servicios. Actualmente, un millón de personas en Lima y Callao no tienen acceso al agua potable. La mayoría de ellas consume agua de fuentes insalubres o contaminadas, tales como acequias de regadío, pozos artesanales informales o camiones-cisternas informales. En este último caso, el precio del agua puede representar hasta 12 veces la tarifa doméstica de SEDAPAL.

Las Naciones Unidas (UNESCO, 2005) ha establecido (ver Figura 1) el valor 1 700 m³/hab/año como el umbral mínimo del “índice de escasez de agua intermitente o localizada” debajo del cual se define un estado de “**Estrés Hídrico**”. De la misma manera, el valor de 1 000 m³/hab/año es el umbral del “índice de escasez de agua crónica” que determina una situación de “**Escasez Hídrica**”. De acuerdo a estos valores, el Perú ocupa el puesto 17 de disponibilidad de agua per cápita, de un total de 180 países en el Mundo con una disponibilidad media nacional de 64 000 m³/hab/año.

La disponibilidad de agua per cápita en la cuenca del río Amazonas representa aproximadamente tres veces la media nacional; sin embargo, la situación es radicalmente diferente en la Vertiente del Pacífico Peruano. Mientras que la disponibilidad media alcanza apenas 1 800 m³/hab/año en esta vertiente, en las cuencas Chillón-Rímac-Lurín es 125 m³/hab/año. Ambos valores representan aproximadamente la cuarentava y quinientava parte (respectivamente) de la media nacional.

Por su parte, la disponibilidad per cápita media anual en las cuencas Chillón-Rímac-Lurín representa la octava parte (1/8) del “índice de escasez de agua crónica”, lo cual refleja una franca situación de escasez hídrica en Lima Metropolitana.

Figura 1. Disponibilidad de agua per cápita



Fuente: PROACC (2017)



En el contexto de escasez hídrica, el hecho que durante el período de avenidas sólo se aproveche una pequeña parte de la oferta de agua (pues una gran parte del escurrimiento superficial “se pierde” en el mar) hace que la situación de disponibilidad de agua en Lima Metropolitana resulte todavía más grave. Por otro lado, la capacidad de almacenamiento del sistema hidráulico de la cuenca del Rímac y del Mantaro, a través de las lagunas y presas en la cuenca alta, asciende a 330 MMC, que equivale, aproximadamente, a seis meses de la demanda de agua potable para Lima Metropolitana.

Así también, los registros históricos muestran la recurrencia de periodos secos en los cuales las descargas medias de los ríos pueden disminuir de manera significativa, provocando problemas graves de abastecimiento en Lima Metropolitana, sobre todo durante el período de estiaje. Estos periodos secos se acentúan con la recurrencia de los eventos hidrológicos extremos, el Fenómeno “El Niño” y el cambio climático.

La potabilización del agua para Lima y Callao es compleja y costosa debido a las altas concentraciones de metales procedentes de la minería y de la industria, causados principalmente por pasivos mineros y vertimiento de aguas residuales. La producción media anual de agua potable equivale a 23,5 m³/s (2015). Las plantas de tratamiento Atarjea – Rímac y Chillón producen el 83% del agua potable, cuyas fuentes son aguas superficiales; el 17% restante proviene de la extracción de aguas subterráneas.

En la actualidad (2015¹), existe un balance negativo entre la oferta y la demanda anual de agua potable de alrededor de 3,5 m³/s. En principio, la demanda de agua en la ciudad para los próximos años será creciente, tanto por el consumo poblacional como por el consumo productivo. Según el Plan Maestro Optimizado de SEDAPAL, el incremento del consumo de agua para uso poblacional en los próximos 15 años sería del 18%, pasando de aproximadamente 27 m³/s, en 2015, a 32 m³/s, en 2030. Al año 2045, el incremento sería del 41%, alcanzando 38 m³/s. De igual manera, el crecimiento económico requerirá en muchos sectores industriales un mayor uso del agua. Para cubrir la creciente demanda, SEDAPAL prevé implementar, paulatinamente, una serie de proyectos de captación, sobre todo en la zona de la cabecera del Rímac. Cabe destacar que, incluso si se implementan los proyectos previstos sin retraso, y suponiendo que el régimen pluvial no cambie significativamente, el superávit en el balance hídrico durante el periodo de estiaje será muy pequeño (< 10%) para poder mitigar épocas de sequía severa o extrema. Un escenario menos optimista apunta a un déficit crónico y creciente de agua potable para Lima Metropolitana, lo que hará necesario implementar prácticas más eficientes del uso de agua, así como el aprovechamiento de fuentes alternativas como el reúso de aguas residuales tratadas.

¹Según información del PMO SEDAPAL (2014)

Figura 2. Oferta / demanda de agua y escasez hídrica



Fuente: modificado de Kaser et al. (2004)

CAPÍTULO 2.

DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO DE ÁREAS VERDES

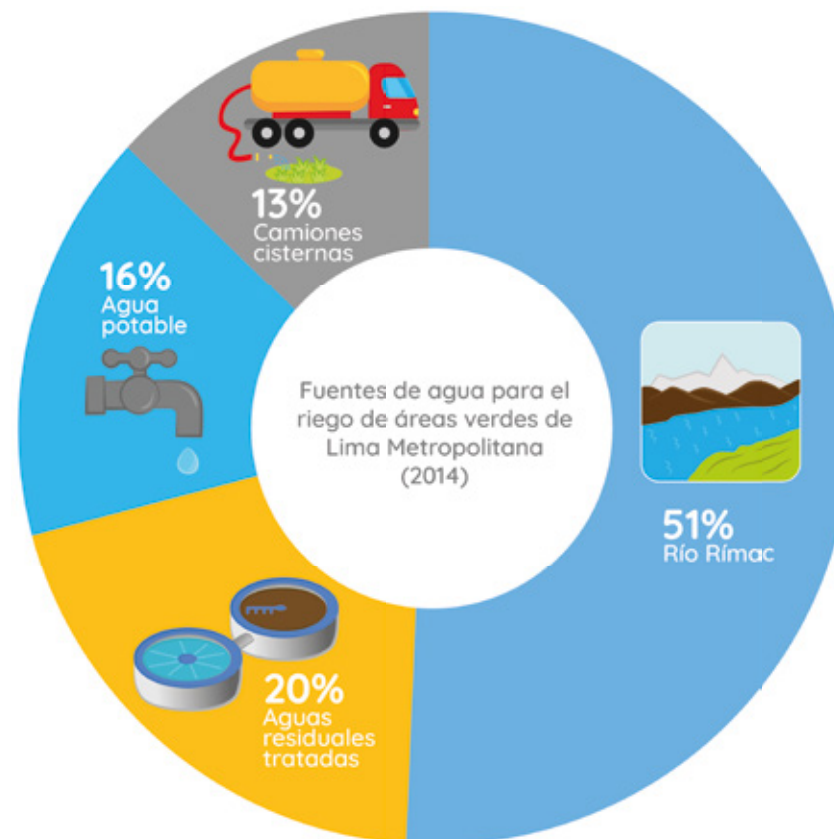
¿Cuál es la demanda actual de riego de áreas verdes?

El estudio denominado Plan de Espacios Abiertos e Infraestructura Ecológica (PEAIE-2015) elaborado por la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML), estimó que en el año 2014, el área verde útil habilitada para riego, en los 43 municipios distritales de Lima, acumulaba 2 715 ha, y que la demanda de agua asociada, considerando los sistemas de riego vigentes², alcanzaba 2 361 L/s.

¿De dónde provienen los recursos hídricos usados para atender la demanda actual de riego de áreas verdes?

- Del **Río Rímac** (en una proporción mayor al 50%) a través de los canales Surco y Huatica. Las aguas de los ríos Chillón y Lurín se destinan, principalmente, al uso poblacional y agrícola.
- De las **Aguas residuales tratadas** de PTARs públicas y privadas (20% de participación); en su mayoría, provienen de la PTAR San Bartolo (en Lurín), PTAR Huáscar y Parque 26 (en Villa El Salvador) y PTAR San Juan (en San Juan de Miraflores). Su uso se realiza en el marco de convenios de prestaciones recíprocas entre las Municipalidad con SEDAPAL que permiten a los municipios captar parte de los efluentes tratados de las PTARs y usarlos en el riego de áreas verdes, empleando camiones cisterna.
- Del **Agua potable** suministrada por una conexión domiciliar de SEDAPAL **y camiones cisternas** que captan el agua de pozos municipales o privados ubicados en los valles de Chillón o Lurín (corresponde al casi 30% restante). En ambos casos, los costos involucrados son comparativamente mayores a las otras fuentes descritas (ver Figura 3).

Figura 3. Fuentes de agua para el riego de áreas verdes en Lima



Fuente: SEDAPAL (2014)/ Elaboración Propia

²Sistemas de riego vigentes: inundación 15%, mangueras-aspersión 37%, camión cisterna-aspersión 39% y riego tecnificado por micro aspersión y goteo 9%; considerado como Situación 1 más adelante.

¿Cuál sería la demanda en un escenario de reemplazo de los sistemas comunes de riego de áreas verdes?

El Plan de Espacios Abiertos e Infraestructura Ecológica (PEAIE-2015) estimó la demanda máxima actual (año 2014) de agua de las áreas verdes públicas existentes, considerando tres situaciones de cambio de los sistemas de riego (ver Tabla 1 y Tabla 2). Estos valores de demanda representa el requerimiento máximo de agua en tiempo de verano. Este estudio menciona que con el cambio de tipo de riego a sistemas más eficientes, la demanda máxima podría reducirse desde 2361 L/s (actual) hasta 1885 L/s (situación 2A) y 1664 L/s (situación 2B). Es decir, si los municipios invirtiesen en reemplazar los sistemas de riego actuales para lograr la situación 2A, la demanda se reduciría en 20%; y si se realizara una conversión total a sistemas tecnificados (situación 2B), la demanda se reduciría hasta en 30%, es decir, se podrían liberar 697 L/s para otros fines.

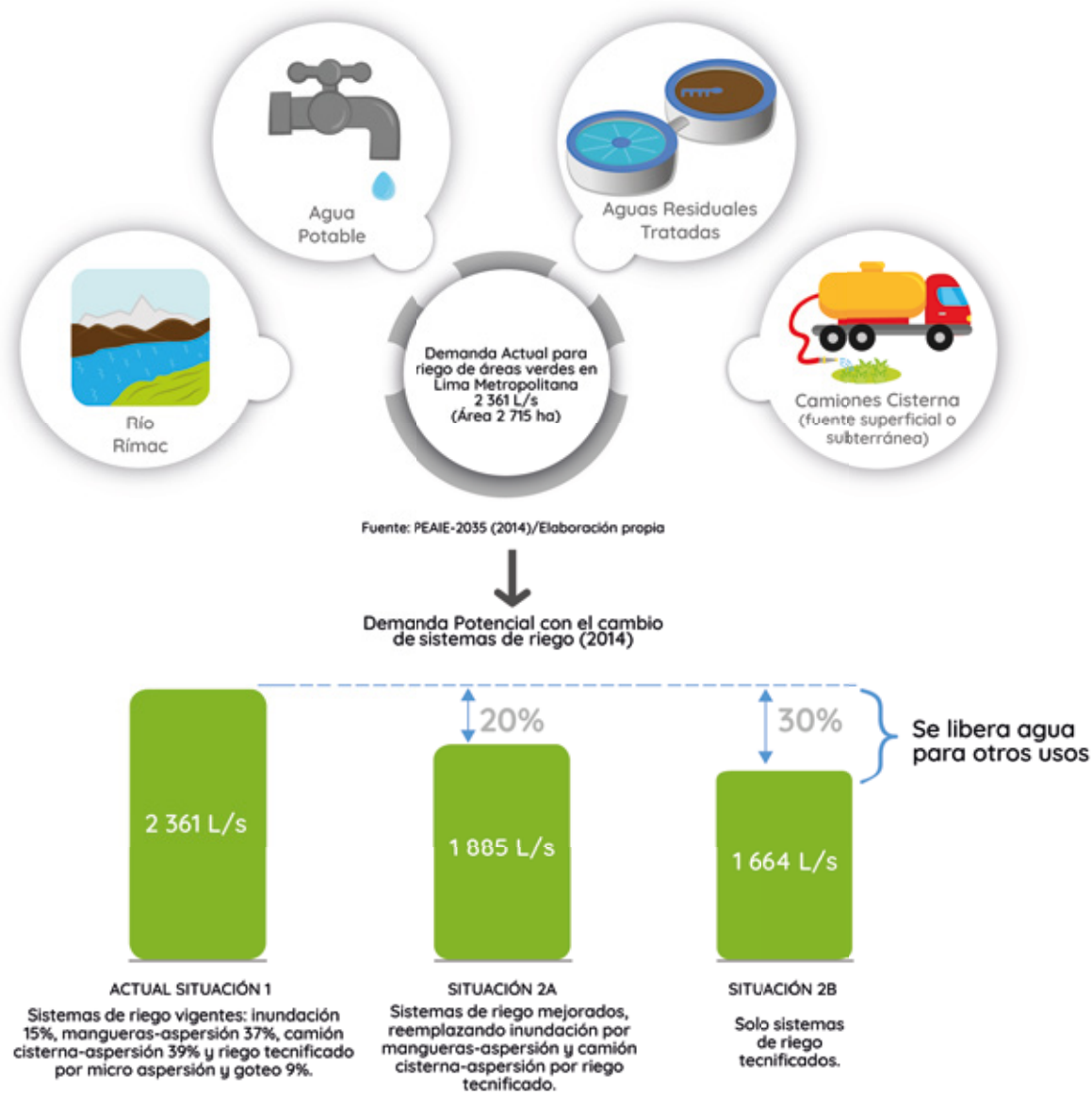
Tabla 1. Demanda de agua para riego de áreas verdes en Lima Metropolitana con sistemas de riego más eficientes (2014)

N°	DISTRITO	ÚTIL HABILITADA (ha)	SITUA. 1	SITUA. 2A	SITUA. 2B
LIMA NORTE		661,93	566,2	428,6	405,7
1	Ancón	36,42	30,7	22,3	22,3
2	Santa Rosa	6,67	5,7	4,1	4,1
3	Puente Piedra	37,96	32,5	23,3	23,3
4	Carabayllo	91,31	80,1	63,8	55,9
5	Independencia	23,29	19,9	14,3	14,3
6	Comas	175,36	153,9	122,5	107,5
7	Los Olivos	159,95	134,7	98	98
8	San Martín de Porres	130,97	108,7	80,3	80,3
LIMA CENTRO		935,06	816,1	687,2	573
9	Rímac	29,59	25,3	18,1	18,1
10	Cercado de Lima	91,8	77,4	68,1	56,3
11	La Victoria	47,8	43,4	35,4	29,3
12	San Luis	26,44	24,2	20,1	16,2
13	Breña	3,76	3,3	2,3	2,3
14	Jesús María	53,02	46,5	37	32,5
15	Lince	12,56	11,1	8,8	7,7

N°	DISTRITO	ÁREA VERDE ÚTIL HABILITADA (ha)	DEMANDA MAX. AGUA (L/s)		
			SITUA. 1	SITUA. 2A	SITUA. 2B
...continúa Lima Centro					
16	Pueblo Libre	24,09	20,7	15,8	14,8
17	Magdalena del Mar	23,82	20,5	15,6	14,6
18	San Miguel	136,56	115,1	83,7	83,7
19	San Borja	110,85	104,1	98,4	68
20	Santiago de Surca	141,92	130,1	117,4	86,9
21	Surquillo	24,04	22	18,3	14,7
22	San Isidro	86,84	76,9	68,1	53,2
23	Miraflores	96,95	74,4	64,8	59,4
24	Barranco	25,02	21,1	15,3	15,3
LIMA ESTE		646,61	575,8	476,2	396,3
25	San Juan de Lurigancho	172,38	145,3	105,6	105,6
26	Lurigancho - Chosica	21,35	18,7	14	13,1
27	Chaclacayo	17,36	15,3	12,2	10,7
28	Ate - Vitarte	152,52	142,3	122,9	93,4
29	Santa Anita	61,33	49,2	42,8	37,6
30	El Agustino	64,92	59,5	49,5	39,8
31	Cieneguilla	12,5	11,4	9,8	7,7
32	La Molina	144,25	134,1	119,4	88,4
LIMA SUR		470,93	403	293,1	288,6
33	Villa María del Triunfo	43,64	37,3	26,7	26,7
34	Villa El Salvador	212,02	181,3	129,9	129,9
35	San Juan de Miraflores	83,96	70,8	51,5	51,5
36	Chorrillos	52,79	46,3	36,9	32,4
37	Pachacamac	6,98	6	4,3	4,3
38	Lurín	31,92	27,3	19,5	19,5
39	Punta Hermosa	17,51	15	10,7	10,7
40	San Bartolo	4,97	4,3	3,1	3,1
41	Punta Negra	12,16	10,4	7,5	7,5
42	Santa María del Mar	2,96	2,6	1,8	1,8
43	Pucusana	2,02	1,7	1,2	1,2
TOTAL		2 715	2 361	1 885	1 664

Fuente: PEAIE-2035 (2014)

Figura 5. Variación de la demanda con el cambio a sistemas más eficientes



Fuente: PROACC (2017)

Actualmente, Lima Metropolitana cuenta con 3,1 m² por habitante, valor significativamente menor a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (9,2 m²/hab).

La liberación de recursos hídricos a causa de mayor eficiencia en el riego permitiría disponerlos para la ampliación de áreas verdes en varios municipios. En este sentido, considerando la proyección de áreas que podrían ser habilitadas hacia el año 2035 (ver Cuadro 1 y Tabla 2) realizado en el PEAI-E-2035, existe la posibilidad de incrementar de 3,1 m²/hab a 4,49 m²/hab según el escenario A.

Si además, se habilitaran los parques agrícolas y los parques ribereños, es decir en el contexto del escenario B, se alcanzaría hasta 12,31 m²/hab (>9,2 m²/hab). Con este incremento, Lima Metropolitana podría ser considerada como una ciudad ambientalmente saludable y sostenible. Los cálculos consideran el crecimiento poblacional durante el período 2014-2035.

Por otro lado, se prevé una ampliación de un 44% (de 2 715 ha a 4 835 ha, sin incluir zonas agrícolas y ribereñas) en las proyecciones de áreas verdes realizadas en el PEIAIE-2035 para el año 2035. Esto requiere de un incremento de la oferta actual de agua para riego en 54.5%, es decir 1 286 L/s adicionales (escenario A-año 2035), considerando que se realiza la conversión del 100% de los sistemas de riego vigentes a sistemas tecnificados en el año base (situación 2B).

Cuadro 1 Escenarios respecto a áreas que pueden ser habilitadas como áreas verdes

ESCENARIOS	DESCRIPCIÓN
Actual Año 2014	Áreas verdes públicas zonificadas existentes, habilitadas al 100% y con los mismos sistemas de riego actuales: inundación, manguera, cisterna y tecnificados (aspersión, micro-aspersión y goteo).
Escenario A (2035)	Áreas verdes públicas, proyectadas al 2035, considerando sólo sistemas de riego tecnificado.
Escenario B (2035)	Áreas verdes públicas, proyectadas al 2035, incluyendo parques agrícolas ³ y parques ribereños ⁴ , considerando sólo sistemas de riego tecnificado. (Estas áreas son abastecidas actualmente con agua de río y no tienen acceso al público, pero su acceso podría ser habilitado y realizar el riego con aguas residuales tratadas.)

Fuente: PEAI-E-2035 (2014)/ elaboración propia

³“Los parques agrícolas buscan preservar el área agrícola existente en la actualidad y los ecosistemas de los valles de la metrópoli de Lima y Callao. (...) Las zonas agrícolas con potencial como parque agrícola suman **7 672 ha**, de las cuales 62% corresponden al valle del río Lurín, 35% al valle del río Chillón y 3% al valle del río Rímac.” PEAI-E - 2035 (SERPAR 2014).

⁴“Los parques ribereños se implementarán en las áreas que se encuentran vacantes en las fajas marginales de los tres ríos de la ciudad: Rímac, Chillón y Lurín, de la quebrada activa del río Huaycoloro y de 10 canales primarios. El área total vacante con potencial de habilitarse como parques ribereños, correspondiente a los 3 principales ríos, es de **2 299 ha**. (...) Estos canales se ubican en los tres valles y cuentan con una longitud total de 64 km.” PEAI-E - 2035 (SERPAR 2014)

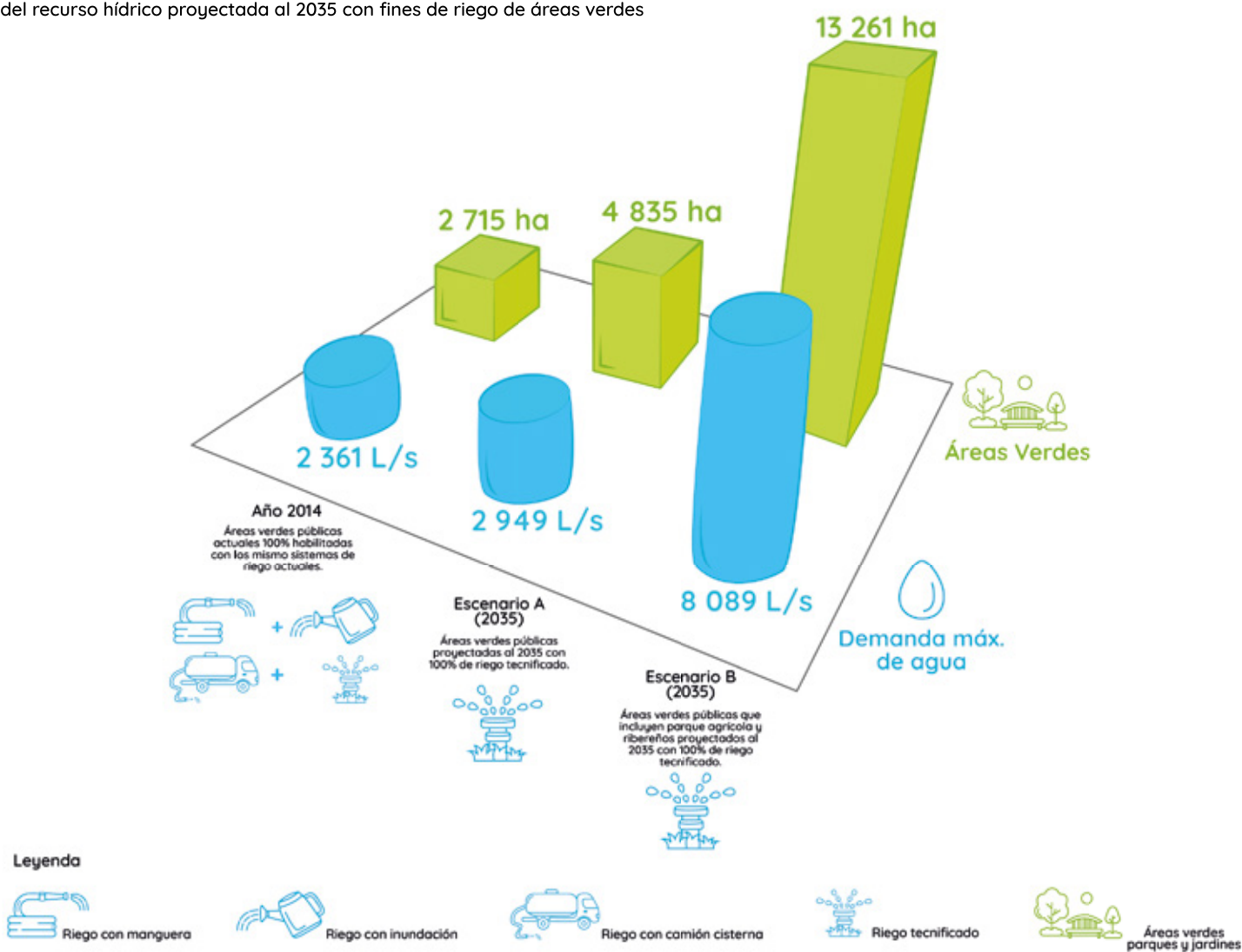
Tabla 2. Demanda de agua para riego de áreas verdes proyectadas al 2035 en Lima Metropolitana

N°	DISTRITO	ÁREA VERDE ÚTIL HABILITADA (ha)			DEMANDA MAX. AGUA (l/s)		
		Existentes Actual (Año 2014)	ESC. A (Proyectado 2035)	ESC. B Proyectado (2035)	Actual (2014)	ESC. A (2035)	ESC. B (2035)
LIMA NORTE		661,96	2 128,03	6 276,97	566,20	1 298,10	3 828,95
1	Ancón	36,45	1 316,44	1 316,44	30,70	803,03	803,03
2	Santa Rosa	6,67	18,97	18,97	5,70	11,57	11,57
3	Puente Piedra	37,96	83,04	221,95	32,50	50,65	135,39
4	Carabayllo	91,31	200,47	4 128,38	80,10	122,29	2 518,31
5	Independencia	23,29	23,29	23,29	19,90	14,21	14,21
6	Comas	175,36	178,86	193,86	153,90	109,10	118,25
7	Los Olivos	159,95	159,95	171,95	134,70	97,57	104,89
8	San Martín de Porres	130,97	147,01	202,13	108,70	89,68	123,30
LIMA CENTRO		935,06	965,43	984,43	816,10	588,89	600,48
9	Rímac	29,59	54,58	60,58	25,30	33,29	36,95
10	Cercado de Lima	91,80	93,78	106,78	77,40	57,21	65,14
11	La Victoria	47,80	51,20	51,20	43,40	31,23	31,23
12	San Luis	26,44	26,44	26,44	24,20	16,13	16,13
13	Breña	3,76	3,76	3,76	3,30	2,29	2,29
14	Jesús María	53,02	53,02	53,02	46,50	32,34	32,34
15	Lince	12,56	12,56	12,56	11,10	7,66	7,66
16	Pueblo Libre	24,09	24,09	24,09	20,70	14,69	14,69
17	Magdalena del Mar	23,82	23,82	23,82	20,50	14,53	14,53
18	San Miguel	136,56	136,56	136,56	115,10	83,30	83,30
19	San Borja	110,85	110,85	110,85	104,10	67,62	67,62
20	Santiago de Surco	141,92	141,92	141,92	130,10	86,57	86,57
21	Surquillo	24,04	24,04	24,04	22,00	14,66	14,66
22	San Isidro	86,84	86,84	86,84	76,90	52,97	52,97
23	Miraflores	96,95	96,95	96,95	74,40	59,14	59,14
24	Barranco	25,02	25,02	25,02	21,10	15,26	15,26
LIMA ESTE		646,61	946,91	2 293,39	575,80	577,62	1 398,97
25	San Juan de Lurigancho	172,38	172,38	177,38	145,30	105,15	108,20
26	Lurigancho - Chosica	21,35	184,43	507,13	18,70	112,50	309,35
27	Choclocayo	17,36	52,34	97,34	15,30	31,93	59,38
28	Ate - Vitarte	152,52	217,88	283,88	142,30	132,91	173,17
29	Santa Anita	61,33	61,33	61,33	49,20	37,41	37,41
30	El Agustino	64,92	64,92	90,92	59,50	39,60	55,46
31	Cieneguilla	12,50	49,37	931,15	11,40	30,12	568,00
32	La Molina	144,25	144,26	144,26	134,10	88,00	88,00
LIMA SUR		470,93	794,49	3 706,27	403,00	484,63	2 260,88

N°	DISTRITO	ÁREA VERDE ÚTIL HABILITADA (ha)			DEMANDA MAX. AGUA (l/s)		
		Existentes Actual (Año 2014)	ESC. A (Proyectado 2035)	ESC. B Proyectado (2035)	Actual (2014)	ESC. A (2035)	ESC. B (2035)
33	Villa María del Triunfo	43,64	55,64	55,64	37,30	33,94	33,94
34	Villa El Salvador	212,02	232,02	232,02	181,30	141,53	141,53
35	San Juan de Miraflores	83,96	83,96	83,96	70,80	51,22	51,22
36	Chorrillos	52,79	52,79	52,79	46,30	32,20	32,20
37	Pachacamac	6,98	26,13	1 710,08	6,00	15,94	1 043,21
38	Lurin	31,92	222,25	1 450,08	27,30	135,57	884,55
40	Punta Hermosa	17,51	17,51	17,51	15,00	10,68	10,68
40	San Bartolo	4,97	4,97	4,97	4,30	3,03	3,03
41	Punta Negra	12,16	12,16	12,16	10,40	7,42	7,42
42	Santa María del Mar	2,96	85,04	85,04	2,60	51,87	51,87
43	Pucusana	2,02	2,02	2,02	1,70	1,23	1,23
TOTAL		2 715	4 835	13 261	2 361	2 949	8 089

Fuente: PEAIE-2035 (2014)/ elaboración propia

Figura 6. Demanda del recurso hídrico proyectada al 2035 con fines de riego de áreas verdes



Fuente: PEAI-2035 (2014)/ elaboración propia

CAPÍTULO 3.

OFERTA ACTUAL DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN LIMA METROPOLITANA

3.1 Oferta de aguas residuales tratadas en las PTAR de SEDAPAL

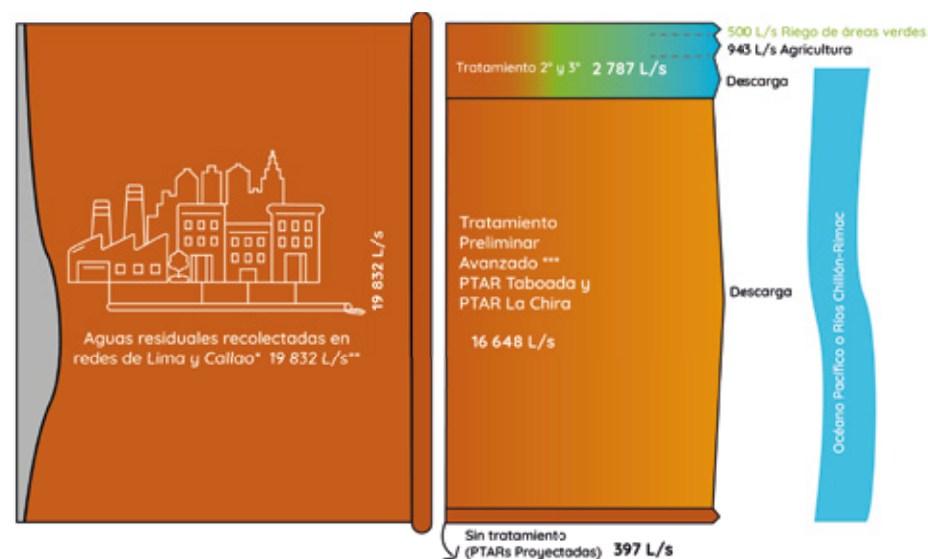
Revisaremos la oferta actual de plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima y Callao bajo administración de SEDAPAL, especialmente aquellas que cuentan con tratamiento secundario o superior. Estos efluentes podrían ser destinados al reúso en riego de áreas verdes municipales, vía convenio o contrato de suministro SEDAPAL-Municipio, siempre que se verifique su aptitud microbiológica y físico-química respecto a las normas de calidad vigentes y aplicables.

Se estima que al 2014, el 14% (2 787 L/s) de las aguas residuales recolectadas por el sistema de alcantarillado de SEDAPAL como mínimo recibía tratamiento secundario. De estos, aproximadamente el 34% era reusado con fines agrícolas y áreas verdes, mientras que el restante 66% era descargado al mar o a los ríos Chillón, Rímac o Lurín (ver Figura 7).



Foto 2. Anuncio municipal en la ubicación de PTAR María Reiche. Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

Figura 7. Estado del Tratamiento, Reúso y Disposición Final de las Aguas Residuales recolectadas por SEDAPAL

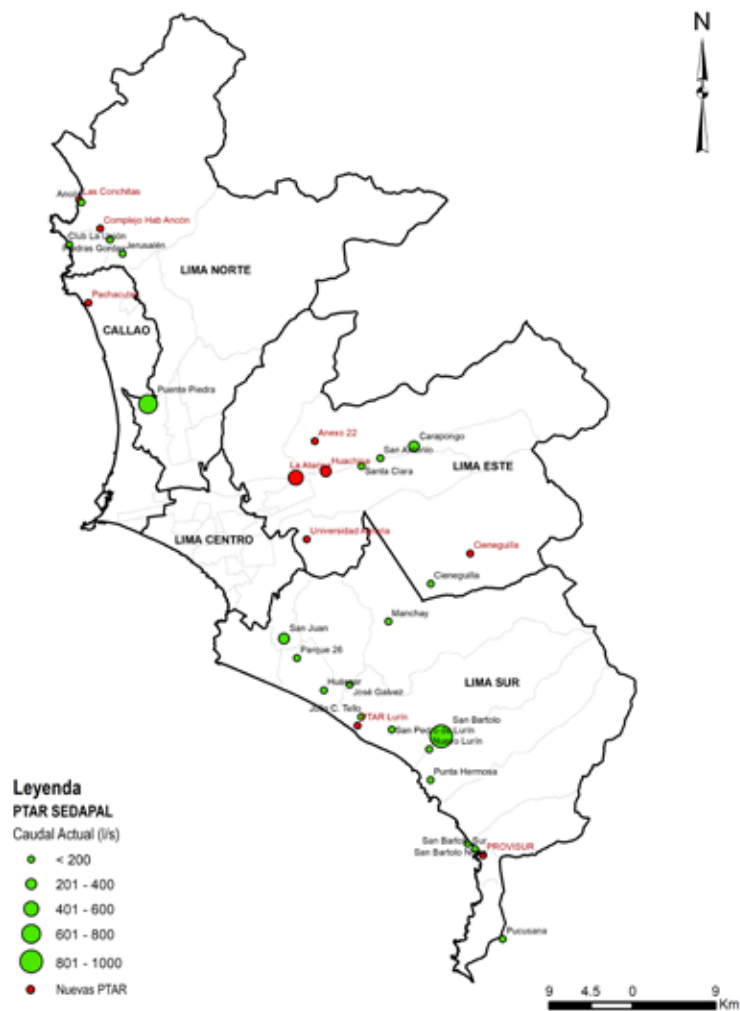


(*) Recolectado en sistemas de colectores primarios, no incluye los caudales entregados por colectores secundarios a PTARs (por ejemplo).
 (**) Valor presentado en el Anuario Estadístico 2016 de SEDAPAL.
 (***) Incluye tratamiento primario.

Fuente: PEAIE-2035 (2014)/ elaboración propia

Se puede concluir entonces que al año 2014, existe disponibilidad de aguas residuales tratadas por SEDAPAL con potencial de reúso, condicionado a que la demanda tenga acceso al recurso, es decir, que las áreas verdes a ser regadas se encuentren a poca distancia de las PTAR y, preferiblemente, a una cota topográfica menor a la PTAR. A continuación, se muestra, gráficamente, la ubicación de las PTARs de SEDAPAL cuyo efluente cuenta con tratamiento secundario, como mínimo (ver Figura 8).

Figura 8. Oferta de aguas residuales con tratamiento secundario producidas por SEDAPAL (año 2014)



Fuente: Elaboración propia

3.2 Sistemas municipales de tratamiento de Aguas Residuales en Lima Metropolitana

Aquí revisaremos la oferta actual de plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima Metropolitana bajo administración municipal, cuyo efluente es destinado, exclusivamente, al riego de áreas verdes.

Actualmente en Lima Metropolitana existe un total de 24 PTARs municipales cuyos efluentes son destinados al riego de áreas verdes. El Cuadro 2 presenta un resumen de todas las instaladas.



Foto 3. Vista elevada de la PTAR soterrada del parque zonal Cahuide bajo administración de SERPAR
 Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

Cuadro 2. Sistemas Municipales de Tratamiento de Aguas Residuales para Riego de Áreas Verdes

N°	PTAR	UBICACIÓN (DISTRITO)	OPERADOR	TECNOLOGÍA ⁵	NIVEL DE TRATAMIENTO	CAUDAL (Q _v)		
						DISEÑO		ACTUAL
						m ³ /d	(L/s)	(L/s)
ZONA NORTE								
1	El Mirador	Ventanilla	M.D Ventanilla	Humedal Artificial	Secundario	300	3,50	3,50
2	Av. Universitaria	Carabayllo	SERPAR	LA + Filt	Terciario	345	4,00	3,00
3	PZ Manco Cápac	Carabayllo	SERPAR	LA + Filt	Terciario	260	3,00	3,00
4	PZ Sinchi Roca	Comas	SERPAR	LA + Filt	Terciario	s.i	s.i	s.i
5	Collique	Comas	M.D Comas	LA	Secundario	430	5,00	8,00
6	PZ Lloque Yupanqui	Los Olivos	SERPAR	LA + Filt	Terciario	s.i	s.i	s.i
7	Izaguirre	Los Olivos	EMAPE-MML	LA + Filt	Terciario	780	9	9
8	Intercambio vial Habich	SMP	EMAPE-MML	LA + Filt	Terciario	170	2	2
9	PZ Santa Rosa	Santa Rosa	SERPAR	LA + Filt	Terciario	s.i	s.i	s.i
10	PTAR Aguas del Callao	Carmen de la Legua	Concesionaria Municipal	LA MBBR + UF	Terciario	2000	23	23
ZONA CENTRO								
11	Via Expresa Grau	Lima	EMAPE-MML	LA + Filt	Terciario	100	1,15	1,15
12	Parque María Reiche	Miraflores	Concesionaria Municipal	LA MBBR + UF	Terciario	750	8,68	8,68
13	Av. Paseo del Bosque	San Borja	M.D San Borja	LA + Filt	Terciario	170	2,00	2,00
14	PZ Cahuide	Ate-Vitarte	SERPAR	LA MBR	Terciario	320	3,70	3,70
15	PZ El Migrante	La Victoria	SERPAR	LA + Filt	Terciario	86,4	1,00	1,00
16	Parque Precursores	San Miguel	Concesionaria Municipal	LA MBBR + UF	Terciario	250	2,89	2,89
17	Parque Juan Pablo II	San Miguel	Concesionaria Municipal	LA MBBR + UF	Terciario	800	9,26	9,26
18	Godofredo García	San Isidro	M.D San Isidro	LA HBC + Filt	Terciario	20	0,23	0,23
19	Estadio Municipal MUSA	La Molina	M.D La Molina	LA	Secundario	40	0,46	0,46
ZONA SUR								
20	Alameda Solidaridad	VES	M.D VES	LA	Secundario	520	6,00	6,00
21	Alameda de la Juventud	VES	M.D VES	LA	Secundario	432	5,00	5,00
22	Oasis de Villa	VES	M.D VES	Humedal Artificial	Secundario	26	0,30	0,20
23	Huerto Comunal	VMT	M.D VMT	LA	Secundario	432	5,00	2,00
24	PZ Flor de Amancaes	VMT	SERPAR	LA + Filt	Terciario	s.i	s.i	s.i
TOTAL						8 231,40	95,17	94,07

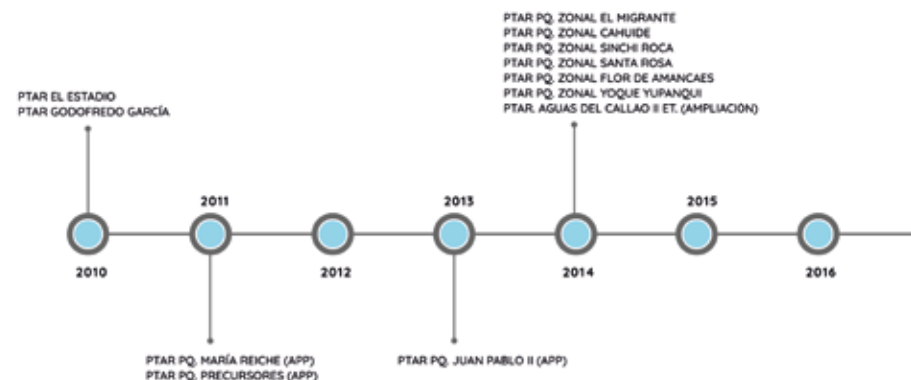
Fuente: Elaboración propia

⁵ LA = Lodos Activados Aireación Prolongada o Extendida; LA MBBR = Lodos Activados de Lecho Móvil Fluidizado; LA MBR = Lodos Activados con Filtración de Membrana incorporada; Filt = Filtración

3.2.1 Cronología de inversiones en Sistemas Municipales de Tratamiento

Hasta el año 2010, en Lima y Callao existían 18 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, administradas por las municipalidades provinciales y distritales de Lima o Callao, cuyos efluentes eran destinados al riego de áreas verdes en parques y bermas. Desde entonces, otras municipalidades, como la Municipalidad Provincial del Callao y la Municipalidad Metropolitana de Lima, a través de Servicios de parques de Lima (SERPAR), han adjudicado nuevas PTARs usando el mecanismo de obra pública o Asociaciones Público-Privadas (APPs) entre el año 2010 y el 2016. En este período se adjudicaron 12 PTARs nuevas (ver Figura 9), cuatro (4) mediante APP y el resto como vía obra pública; además, una PTAR concesionada fue ampliada debido al incremento de la demanda de riego (PTAR Aguas del Callao).

Figura 9. Cronología de Adjudicaciones

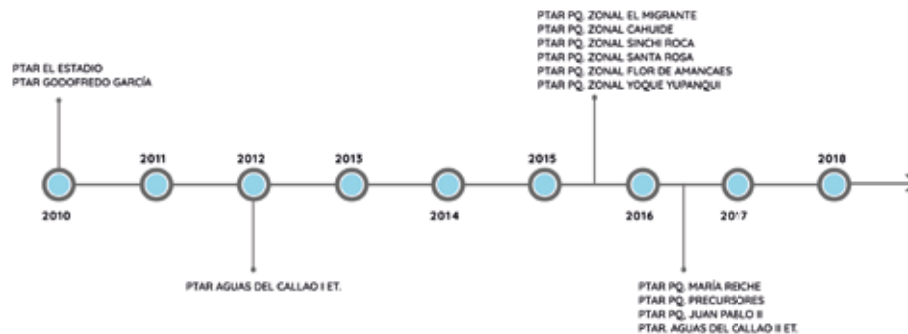


Fuente: Elaboración propia

La mayoría de estas PTAR se encuentra en proceso de construcción o en periodo de prueba y puesta en marcha, por lo que en el periodo 2016-2017 deberían estar en plena operación (ver Figura 10).

Además de aquellas indicadas en el Cuadro 2, existen tres (3) PTARs municipales de los distritos de Santa María del Mar (2) y Punta Hermosa (1) cuyos efluentes tratados riegan áreas verdes, y que serán desactivadas en el periodo 2017 - 2018, debido a que el servicio será prestado por una nueva PTAR de SEDAPAL. Esta PTAR es un componente del proyecto "Provisión de los Servicios de Saneamiento para los Distritos del Sur del Lima" (PROVISUR) que será construida y operada bajo el mecanismo de APP por la empresa Concesionaria del Sur (CODESUR).

Figura 10. Cronología de Inicio de Operación

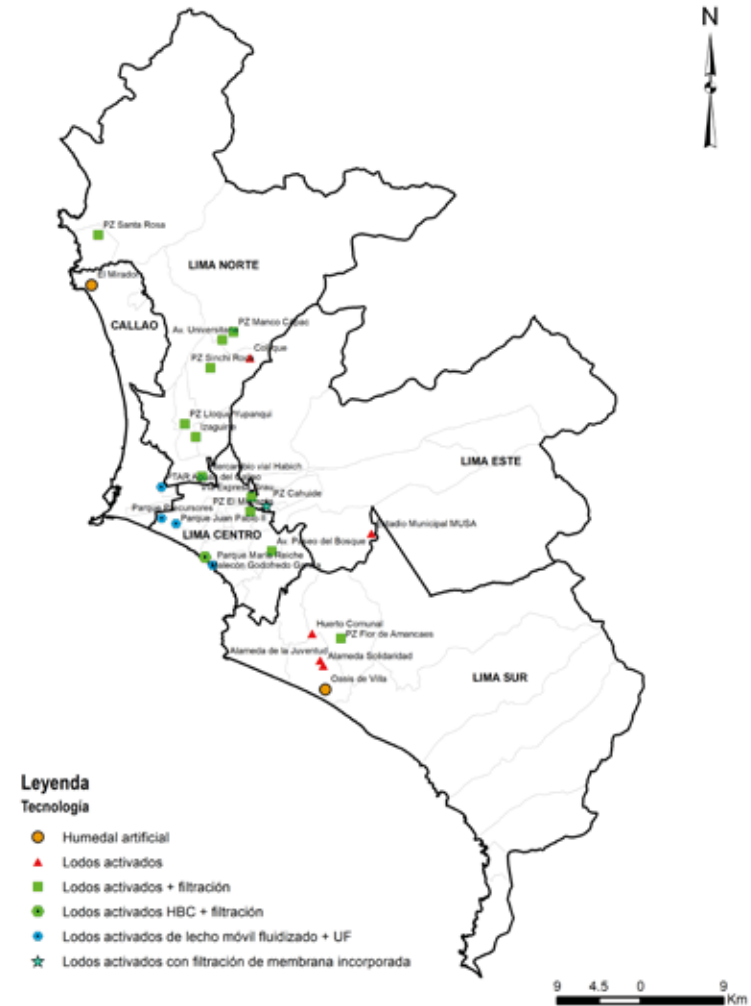


Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Distribución de las plantas de tratamiento según tipo de sistema de depuración

La Figura 11 muestra la distribución geográfica de las plantas de tratamiento municipales según el tipo de sistema de depuración. La tecnología de Lodos Activados con sus variaciones, es la más extendida debido a que es la que requiere menos espacio pudiéndose adecuar al entorno urbano en pequeñas áreas dentro de parques, jardines o bermas de avenidas, logrando así una mínima alteración del paisaje.

Figura 11. Tecnologías de plantas de tratamiento municipales con fines de reúso en riego de áreas verdes



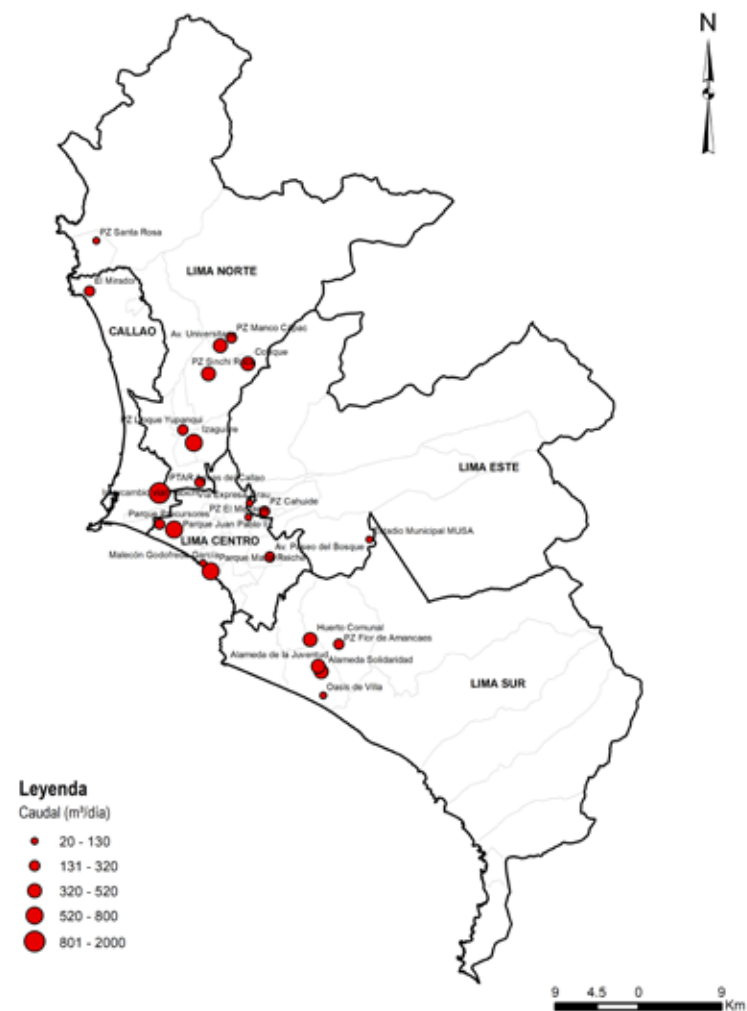
Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Distribución de las plantas de tratamiento en función de la capacidad de tratamiento

En la Figura 12 muestra la ubicación geográfica de las PTARs instaladas en Lima Metropolitana. Se aprecia que la planta más grande de Lima Metropolitana es la PTAR Aguas del Callao con una capacidad de producción de 2000 m³/día. Esta PTAR abastece de agua residual tratada mediante camiones cisterna, a la provincia del Callao. Sigue la PTAR Parque Juan Pablo II (800 m³/día) que, mediante riego tecnificado, abastece a varios parques del distrito de San Miguel. Luego se encuentra la PTAR Izaguirre (780 m³/día) que abastece a la berma central del cruce entre la avenida Izaguirre y la Panamericana y la PTAR Parque María Reiche (750 m³/día) que abastece a más de 15 parques del distrito de Miraflores también mediante sistema de riego tecnificado.



Figura 12. Ubicación geográfica de las plantas de tratamiento municipales existentes con fines de reúso en riego de áreas verdes según su capacidad de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

La información presentada en esta Sección I nos permite concluir que:

FUENTE DE AGUA PARA RIEGO & SISTEMAS EFICIENTES

- Los municipios de Lima Metropolitana **requerirán**, necesariamente, de nuevas fuentes de agua y sistemas más eficientes de riego para reducir la brecha entre las áreas verdes actuales(2014) y las proyectadas(2035). En el corto plazo, deberán **tecnificar** sus sistemas de riego y optar por el **reúso de aguas residuales tratadas** ya que existen restricciones hídricas de las fuentes superficiales para Lima Metropolitana y los altos costos de otras alternativas (agua potable y pozos-camión cisterna).

ALTERNATIVAS DE FUENTES DE AGUA PARA RIEGO

- Una alternativa de **fuentes** de aguas residuales tratadas son los efluentes de las PTARs administradas por SEDAPAL que **cumplan con los niveles de calidad** requeridos para el riego de áreas verdes. Los municipios podrán celebrar contratos o convenios con SEDAPAL para disponer de este recurso. Donde lo existan las PTAR, el municipio podrá convenir el acceso a las aguas residuales crudas de los sistemas de alcantarillado, asumiendo la responsabilidad de su tratamiento con fines de reúso en el riego de áreas verdes. En ambos casos, el Municipio será el responsable de **gestionar** ante la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el **título habilitante que le permita reusar las aguas residuales** en el riego de áreas verdes..

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TÉCNICA/ECONÓMICA

- En el Capítulo 7 de esta Guía, se presenta una **metodología de evaluación económica** (en el contexto particular de cada municipio) para proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso en el riego de áreas verdes municipales

5 PRINCIPALES IDEAS DE ESTA SECCIÓN

01.

Lima es una ciudad con escasez hídrica. La disponibilidad hídrica media en las cuencas Chillón-Rimac-Lurín es **125 m³/hab/año**, que representa la octava parte (1/8) del umbral del "índice de escasez de agua crónica" (1 000 m³/hab/año según reporte de la UNESCO en el año 2005).

02.

El Plan de Espacios Abiertos e Infraestructura Ecológica (PEAIE-2015 componente del PLAM 2035 de la MML), estimó que el área verde útil habilitada en el año 2014 (en los 43 distritos de Lima) es **2 715 ha** que tiene una demanda de agua asociada de **2 361 L/s**.

03.

Existe potencial para liberar recursos hídricos que puedan ser utilizados en la ampliación de áreas verdes en muchos distritos con déficit de superficie por habitante

05.

En Lima y Callao, existen un total de 24 PTARs municipales destinadas al riego de áreas verdes. La principal opción tecnológica instalada es la de Lodos Activados sus diferentes variaciones.

04.

Existe disponibilidad de aguas residuales tratadas por SEDAPAL con potencial de reúso, siempre que la demanda tenga acceso al recurso, así como a las aguas residuales crudas que podrían ser tratadas.

SECCIÓN II

Aspectos técnicos del tratamiento de aguas residuales



Preguntas clave:

- ¿Cuál es el objetivo del tratamiento de aguas residuales? ¿Qué tipos de tratamientos y procesos existen?
- ¿Qué opciones tecnológicas son las más apropiadas y en base a qué criterios se selecciona el tipo de PTAR que implemente la municipalidad distrital?

Al finalizar la sección,

Conocerás los aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo los procesos de tratamiento de aguas residuales e identificarás los factores a evaluar para la selección del tipo de tratamiento más apropiado.



Contenido



CAPÍTULO 4. CONCEPTOS IMPORTANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este capítulo, presentamos algunos conceptos importantes que servirán de base para comprender mejor los siguientes capítulos de la Guía. Nos centraremos en dos aspectos:

- Objetivos de calidad del tratamiento de aguas residuales
- Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales y sus factores de evaluación

4.1 Objetivos de calidad de aguas residuales tratadas destinadas al reúso en riego de áreas verdes

La calidad microbiológica y físico-química de las aguas residuales recolectadas por los sistemas de alcantarillado hacen que éstas no sean aptas para su reúso inmediato en el riego de áreas verdes, puesto que pondrían en riesgo la salud pública y colapsarían los sistemas de riego.

Los rangos de concentración de los principales parámetros que son característicos de un agua residual cruda doméstica son:

- Coliformes Fecales o Termotolerantes (CF) : 10^6 - 10^9 NMP/100 mL
- Huevos de Nemátodos Intestinales o Helmintos (HH) : 10 - 10^4 Huevos/L
- Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días, 20°C (DBO₅, 20°C) : 110 - 400 mg/L
- Sólidos Suspendidos Totales (SST) : 100 - 350 mg/L

¿Qué valores debes tomar en cuenta para evaluar la aptitud microbiológica y físico-química del agua?

Para que estas aguas residuales puedan ser reusadas en el riego de áreas verdes deben ser tratadas hasta alcanzar una aceptable aptitud microbiológica y aptitud físico - química. La condición de “aceptable” lo establecerán las normas de calidad de referencia, que estén vigentes y sean aplicables en el Perú.

APTITUD MICROBIOLÓGICA

Referida a la remoción de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades de origen hídrico al ser humano (virus, bacterias y parásitos). Dada la gran cantidad de patógenos de origen hídrico, se emplea los parámetros de Coliformes Fecales o Termotolerantes (CF) y Huevos de Nematodos Intestinales o Helmintos (HH) como indicadores.



APTITUD FÍSICO - QUÍMICA

Referida principalmente a la remoción de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Se expresa como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₂) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), que pueden ocasionar condiciones sépticas, generar olores, atraer vectores y obstruir los sistemas de riego tecnificado.



Al respecto, el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. 001-2010-AS, establece que la autoridad competente tomará como criterio para evaluar la calidad del agua para reúso: “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”.

Tratándose del riego de áreas verdes públicas (parques, bermas, jardines, etc.) que forman parte del desarrollo urbano, se entiende que el sector competente es Vivienda, Construcción y Saneamiento. En tanto dicho sector no establezca los parámetros y valores límite a considerar para el reúso de las aguas residuales municipales en el riego de áreas verdes, corresponde aplicar las Guías y directrices de la OMS (ver Tabla 3 y Tabla 4).

4.1.1 Aptitud microbiológica

Las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) aplican el enfoque de riesgo para la salud pública derivado del grado de exposición de los diferentes grupos humanos según cada condición de aprovechamiento del agua residual, de tal manera que cuanto mayor es el grado de exposición, menor deberá ser la concentración de agentes patógenos causantes de enfermedades y viceversa.

Con este enfoque, en 1989, la OMS publicó las “Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura”, clasificando las condiciones de aprovechamiento en tres categorías, cada una con diferentes exigencias de aptitud microbiológica y recomendaciones sobre el nivel mínimo de tratamiento del agua residual necesario para lograr la aptitud exigida (ver Tabla 3).

Tabla 3. Directrices recomendadas por la OMS (1989) sobre calidad microbiológica del agua para reúso en riego

CATEGORÍA	CONDICIONES DE APROVECHAMIENTO	GRUPO EXPUESTO	NEMÁTODOS INTESTINALES ^a (Huevos/L)	COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES ^b (NMP/100 ML)	TRATAMIENTO NECESARIO PARA LOGRAR LA APTITUD MICROBIOLÓGICA EXIGIDA
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes o parques públicos	Trabajadores, consumidores, público	< 1	< 1 000 ^c	Serie de 4 a 6 estanques de estabilización o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales, industriales, forrajeros, praderas y árboles ^d	Trabajadores	< 1	No se recomienda ninguna norma,	Serie de estanques de estabilización por 8 o 10 días o eliminación de helmintos
C	Riego localizado de cultivos de la Categoría B cuando los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No es aplicable,	No es aplicable,	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, no menos que sedimentación primaria

^a Especies áscaris, trichuris y anquilostomas.
^b Durante período de riego.
^c Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 ml) para parques públicos.
^d En caso de árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

A partir de las recomendaciones de la OMS (Tabla 3) podemos establecer la **aptitud microbiológica** del agua residual para reúso en el riego de áreas verdes municipales, considerando el grado de exposición de las personas, según lo siguiente:

Tabla 4. Aptitud microbiológica requerida para agua residual tratada con fines de reúso en riego de áreas verdes

CONDICIONES DE APROVECHAMIENTO	GRUPO EXPUESTO	NEMÁTODOS INTESTINALES ^a (HUEVO S/L)	COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES ^b (NMP/100 ML)
Riego de áreas verdes con acceso al público y a trabajadores	El público y los trabajadores se encuentran expuestos por el uso de riego con mangueras, camión cisterna o por inundación.	< 1 huevo/L	Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 ml
Riego de áreas verdes sin acceso al público	Sólo los trabajadores ^c están expuestos durante el riego por el uso de mangueras, camión cisterna o por inundación.	< 1 huevo/L	Sin restricción
Riego localizado de áreas verdes	Ni el público ni los trabajadores están expuestos, debido al empleo de sistemas de riego localizado (aspersión con horario nocturno de riego o goteo), por lo que el agua residual no tiene restricción microbiológica. Sin embargo, por tratarse de riego tecnificado, debe lograr altos niveles de aptitud físico-química para evitar obstrucción de los sistemas.		

^a Especies áscaris, trichuris y anquilostomas.
^b Durante período de riego.
^c Los trabajadores deben contar con Equipos de Protección Personal (EPP) de acuerdo a las normas de salud y seguridad ocupacional, así como los seguros que correspondan.

4.1.2 Aptitud físico-química

Para establecer la **aptitud físico-química** requerida para el agua residual tratada tomaremos de referencia las Guías de la **Agencia de Protección Ambiental de los EEUU, del año 2012**, para el reúso de aguas residuales tratadas (Tabla 5). Esta guía sirve de directriz para que los Estados de la Unión Americana establezcan sus propias regulaciones en la materia.

Tabla 5. Normas de la EPA para el riego tecnificado en parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos

TIPO DE REUTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	APTITUD, FÍSICO-QUÍMICA	APTITUD MICROBIOLÓGICA	DISTANCIA DE SEGURIDAD
Riego de áreas verdes con acceso al público	Secundario ^a + Filtración ^b + Desinfección ^c	pH = 6-9 ≤ 10 mg/L DBO ₅ ≤ 5 UNT o ≤ 5 mg/L SST	CF = No detectable Cl ₂ residual ≥ 1 mg/L	A 15 m de fuentes o pozos de agua potable
Riego de áreas verdes sin acceso al público	Secundario ^a + Desinfección ^c	pH = 6-9 ≤ 30 mg/L DBO ₅ ≤ 30 mg/L SST	CF ≤ 200 NMP/100 mL Cl ₂ residual ≥ 1 mg/L	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable A 30 m de zonas permitidas al público

a Tratamiento secundario: Incluye procesos de lodos activados, filtros percoladores, discos biológicos o lagunas de estabilización. El efluente no deberá exceder 30 mg/L en DBO₅ y SST.
b Filtración: Paso del agua residual tratada a través del suelo no disturbado o medios filtrantes tales como arena y/o antracita, o filtros de membranas.
c Desinfección: Destrucción, inactivación o remoción de microorganismos patógenos por medios químicos, físicos o biológicos. Puede lograrse mediante cloración, ozonización, otros desinfectantes químicos, UV, ultrafiltración u otros procesos como lagunas de maduración.

En general, los sistemas de riego tecnificado pueden operar sin riesgo de obstrucción cuando el nivel de SST es menor a 50 mg/L, por lo que será suficiente un **nivel de tratamiento secundario**¹¹. Sin embargo, cuando se usan lagunas de estabilización, se puede alcanzar buenos resultados en la DBO₅, pero los Sólidos Suspendedos Totales se incrementan por efecto de las algas, en cuyo caso el riego tecnificado podrá efectuarse previa **filtración**¹².

Las concentraciones de Calcio, Sodio y Magnesio en el agua residual provenientes de los sistemas de alcantarillado sanitario de Lima Metropolitana son similares a las del agua potable (cuyas fuentes son principalmente superficiales) por lo que la salinización de suelos no es un problema potencial. Sin embargo, es recomendable evaluar la Relación de **Absorción de Sodio (RAS)**, así como la **concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD)** como prueba confirmatoria (ver Tabla 6).

Tabla 6. Normas de la EPA para evaluar el riesgo de salinización de suelo

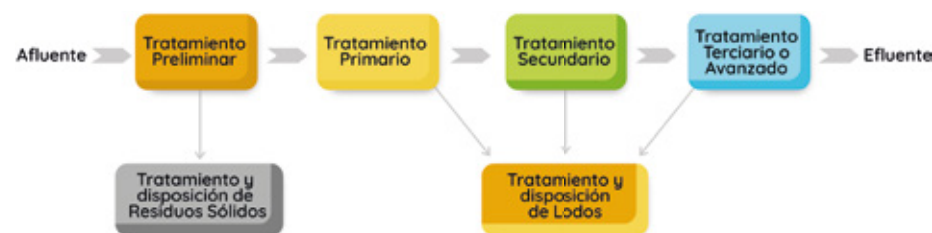
PARÁMETRO	NULO	BAJO A MODERADO	SEVERO
Relación de Absorción de Sodio (RAS)	< 3	3 - 9	> 9
Sólidos Totales Disueltos (STD en mg/L)	< 450	450 - 2 000	> 2 000

Fuente: EPA

4.2 Sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales y su clasificación

Para que el agua residual municipal recolectada por el sistema de alcantarillado sanitario de Lima Metropolitana pueda alcanzar la aptitud microbiológica y físico-química establecidas en el acápite anterior, es necesario someterla a procesos de tratamiento cada uno con objetivos específicos de remoción de determinado elemento (ver Figura 13 y Tabla 6).

Figura 13. Sistemas de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia

⁶ Este tratamiento se explica en el siguiente acápite.

⁷ Este tratamiento se explica en el siguiente acápite.

A continuación se describe los principales elementos mencionados en la Figura 13, de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

Afluente	Agua residual cruda, obtenida del sistema de alcantarillado, que ingresa al tratamiento preliminar o pretratamiento .
Tratamiento preliminar o pre-tratamiento	Conjunto de procesos físicos destinados a remover sólidos gruesos, sólidos flotantes, arenas y aceites y grasas, así como homogenizar el afluente a fin de evitar variaciones excesivas o picos de calidad y caudal. Los elementos retenidos son residuos sólidos, los cuales son retirados de forma manual o automática, estabilizados químicamente con cal para evitar su descomposición y la atracción de vectores y, finalmente, dispuestos en un relleno sanitario de residuos comunes.
Tratamiento Primario	Implica procesos físicos de sedimentación, en donde es retenida la materia orgánica sedimentable y concentrada posteriormente en forma de lodo, llamado lodo primario por su origen, Este es retirado para su posterior tratamiento o estabilizado en la misma unidad de tratamiento, a través de procesos biológicos de digestión anaerobia.
Tratamiento secundario o biológico	Este proceso unitario consiste en un reactor biológico donde se propician las condiciones ambientales que ocurren en la naturaleza, a fin de promover el desarrollo de microorganismos que puedan metabolizar la materia orgánica. Se controlan parámetros como pH (potencial de Hidrógeno), temperatura, la adición de nutrientes o elementos de traza, la adición o exclusión de oxígeno o, también, mediante una mezcla adecuada del medio. El agua residual que ingresa a este tratamiento está compuesta principalmente por materia orgánica en suspensión y soluble (coloidal y disuelta). El crecimiento y decaimiento celular de los microorganismos produce una biomasa en forma de lodo, llamado lodo secundario (por su origen) y lodo activo (por su composición), el exceso de este lodo en sistemas de tratamiento intensivo es recirculado o retirado mediante sedimentación secundaria. Los procesos de tratamiento biológico se clasifican en: <ul style="list-style-type: none"> • Según el grado de control sobre las condiciones del medio: (1)tratamientos intensivos y (2) tratamientos extensivos; • Según el tipo de metabolismo bacteriano: (1) aerobio, (2) anaerobio y 3) facultativo, • Según el medio al que se adhieren los microorganismos: (1) de cultivo fijo, (2) de cultivo en suspensión o (3) la combinación de ambos, • Según régimen de operación: (1) continuo, (2) discontinuo (bach), (3) por pulso, (4) mezcla completa, (5) mezcla parcial o (6) pistón, En el capítulo 5, explicaremos los principales tratamientos.
Tratamiento Terciario o Avanzado	El agua residual biológicamente tratada pasa al tratamiento terciario o avanzado que también es llamado tratamiento de pulimento. Para fines de reúso en riego de áreas verdes, este proceso unitario implica procesos físicos destinados a remover los sólidos suspendidos y huevos de parásitos que puedan quedar, antes de someter el agua residual a un tratamiento de desinfección final.
Efluente	Es el agua residual tratada que ha pasado por todos los procesos unitarios del sistema de tratamiento. En el caso de tratamiento con fines de reúso en el riego de áreas verdes, no se requiere incorporar procesos unitarios para la remoción de nutrientes (N, P), puesto que estos elementos serán asimilados por las plantas, eliminando la de agregar fertilizantes o abonos.

Tabla 7. Sistemas y procesos de tratamiento de Aguas Residuales para riego de áreas verdes

SISTEMA DE TRATAMIENTO	OBJETIVO DE REMOCIÓN	PRINCIPIO O PROCESO UNITARIO	COMPONENTE FÍSICO		
Tratamiento Preliminar o pretratamiento	Sólidos gruesos y flotantes Arenas, Aceites y grasas Picos de colidad y caudal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cribado o Desbaste ❖ Sedimentación ❖ Decantación ❖ Homogenización 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Rejas gruesas, rejas finas y tamices ❖ Desarenador ❖ Trampa de Grasas ❖ Tanque equalizador 		
Tratamiento Primario	Materia Sedimentable	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sedimentación ❖ Digestión anaerobia 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sedimentación primaria ❖ Taque de Séptico ❖ Tanque Imhoff ❖ Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente 		
Tratamiento Secundario o biológico	Materia orgánica biodegradable Sólidos Suspendidos, Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Estabilización biológica aerobia o anaerobia ❖ Sedimentación secundaria ❖ Nitrificación 	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Reactor de Lodos activados ❖ Filtros ❖ Percoladores ❖ Discos Biológicos </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Intensivos</u> ❖ <u>Extensivos</u> ❖ Infiltración-Percolación ❖ Filtro Plantado horizontal ❖ Filtro Plantado vertical ❖ Lagunas de Estabilización </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Reactor de Lodos activados ❖ Filtros ❖ Percoladores ❖ Discos Biológicos 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Intensivos</u> ❖ <u>Extensivos</u> ❖ Infiltración-Percolación ❖ Filtro Plantado horizontal ❖ Filtro Plantado vertical ❖ Lagunas de Estabilización
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Reactor de Lodos activados ❖ Filtros ❖ Percoladores ❖ Discos Biológicos 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Intensivos</u> ❖ <u>Extensivos</u> ❖ Infiltración-Percolación ❖ Filtro Plantado horizontal ❖ Filtro Plantado vertical ❖ Lagunas de Estabilización 				
Tratamiento Terciario o avanzado	Nutrientes (N, P) Sólidos Suspendidos Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Desnitrificación ❖ Asimilación biológica de nutrientes ❖ Filtración ❖ Desinfección 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Precipitación química de fósforo ❖ Filtro Plantado (Wetlands) ❖ Filtración de arena y/o artracita ❖ Lagunas de Maduración ❖ Ultrafiltración (membranc) ❖ Cloración, UV, O₃, ClO₂ 		

Fuente: Elaboración propia



Foto 5. Tamiz rotativo de malla perforada de la PTAR del parque zonal Cahuipe bajo administración de SERPAR. Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

CAPÍTULO 5 : PRINCIPALES PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

Este capítulo se centra en desarrollo de los procesos que realizan el tratamiento secundario de las aguas residuales, también llamado tratamiento biológico, debido a que determina la concepción global del sistema de tratamiento, porque:

- (a) Los procesos de tratamiento preliminar son comunes y necesarios a todos los sistemas;
- (b) los procesos de tratamiento primario dependen de la elección de los procesos de tratamiento secundario y
- (c) el tratamiento terciario o avanzado es optativo en el contexto de un reúso con fines de riego de áreas verdes.

El tratamiento secundario se realiza un **reactor biológico** (componente de infraestructura) en el cual se recrean los fenómenos y procesos de degradación de la materia orgánica que se producen en la naturaleza.

El esquema conceptual de un reactor biológico se presenta en la Figura 14, el grado de control sobre el medio determina el diseño de los reactores biológicos y sus diferentes acepciones.

Las bacterias (microorganismos):

Son los actores principales en un reactor biológico porque son responsables de asimilar la materia orgánica suministrada al reactor para convertirla en biomasa (masa celular y nuevas células), a través de su propio metabolismo celular (ver Figura 14b). El tipo de bacterias que se desarrollarán en el reactor está condicionado a (ver Figura 14c):

- a) La presencia o ausencia de oxígeno (bacterias aerobias o anaerobias),
- b) El periodo de retención celular (θ_c), también llamado edad del lodo (bacterias nitrificantes)
- c) Las características del agua residual suministrada (sustrato); existiendo otros microorganismos que pueden desarrollarse en el reactor según las condiciones del medio, constituyendo un ecosistema cerrado.

Se inicia la fase endógena o de muerte de microorganismos cuando se suspende la alimentación del sustrato a un reactor biológico porque la velocidad de crecimiento de la biomasa se detiene y empieza a decaer. Este decaimiento de la biomasa no es abrupto, debido a que, en ausencia de sustrato, aún existe crecimiento bacteriano alimentado por el material intracelular de otras células (lisis). A este comportamiento también se le denomina digestión, el cual es un importante principio en los procesos de tratamiento de lodos que se aborda en el Anexo N°03.

Periodos de retención celular:

Algunos reactores operan con periodos cortos de retención celular en fase de crecimiento exponencial (2-4 días), producen grandes volúmenes de lodos sin estabilizar. Estos deben ser retirados del reactor vía sedimentación secundaria para su digestión posterior, a fin de evitar la generación de olores y vectores (Ej. Lodos activados de alta carga).

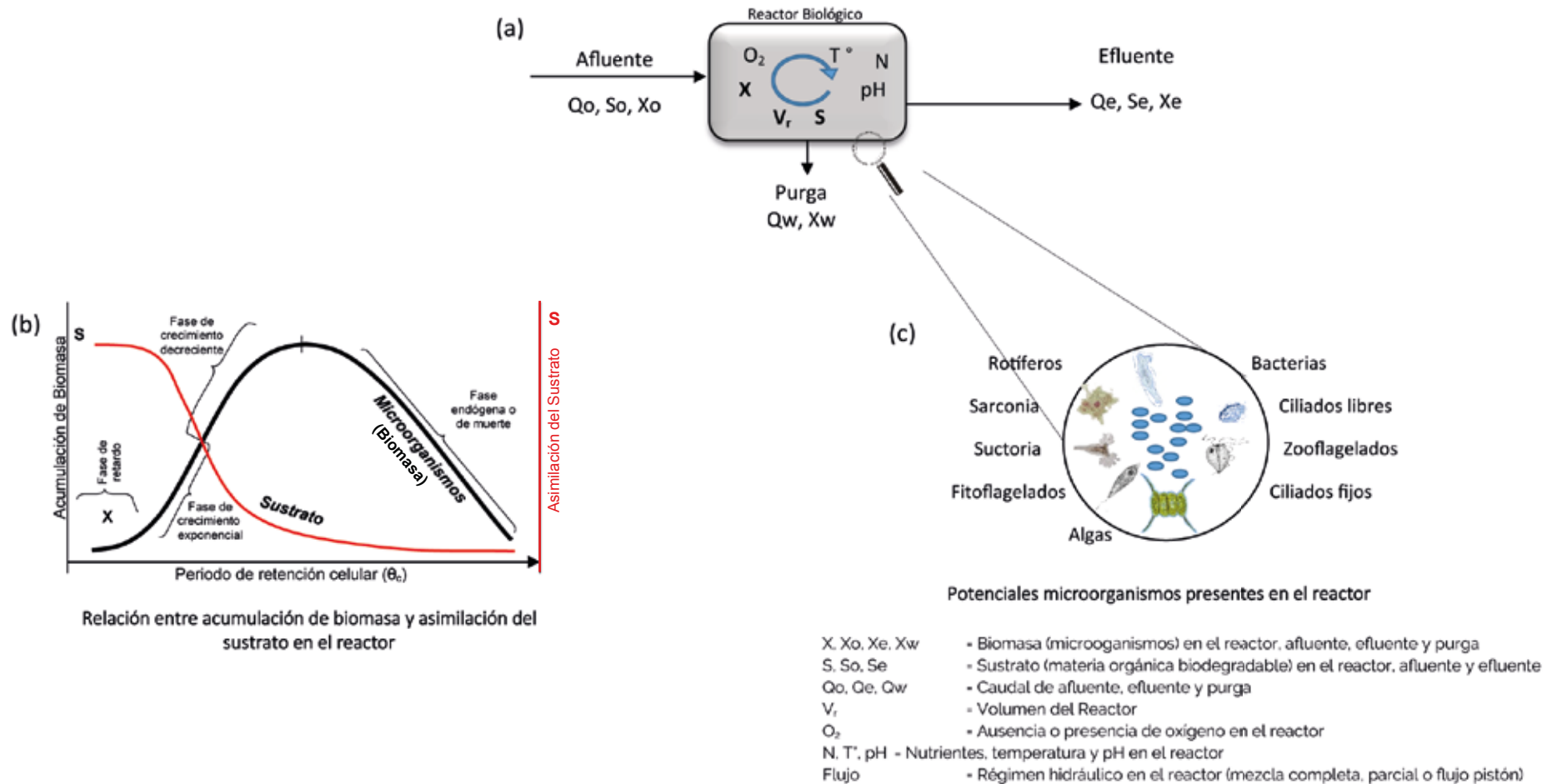
Reactores que operan con largos periodos de retención celular en fase endógena (20 - 60 días) tienen baja producción de lodos estabilizados que no necesitan tratamientos adicionales (Ej. Lodos activados de aireación prolongada).

Tratamientos biológicos intensivos y extensivos:

Como se mencionó anteriormente, los procesos de tratamiento biológico se pueden clasificar en tratamientos intensivos y tratamientos extensivos, según el grado de control que se ejerza sobre las condiciones del medio al interior del reactor.

- En el tratamiento intensivo la tecnología juega un papel importante en la regulación de las condiciones del medio, con lo cual se requiere menores periodos de retención hidráulica y menor dimensión del reactor (Ej. Lodos Activados).
- En los tratamientos extensivos se deja que el medio, en su condición natural, suministre los elementos necesarios para el crecimiento bacteriano, lo que demanda mayores periodos de retención hidráulica y mayor dimensión del reactor para alcanzar los mismos objetivos de calidad que los tratamientos intensivos (Ej. lagunas de oxidación facultativas).

Figura 14. Esquema conceptual de un reactor biológico



El diseño de los procesos de tratamiento biológico:

El diseño de los procesos de tratamiento biológico se sustenta en una serie de modelos matemáticos basados en ecuaciones empíricas, deducidas de la observación del comportamiento de los microorganismos, la calidad del afluente y el efluente resultante, así como el control sistemático de las condiciones del medio, para cada uno de los procesos de tratamiento. El desarrollo de tales investigaciones ha permitido establecer diversos parámetros de control y rangos de valor recomendados para el diseño. Sin embargo, todos los procesos de tratamiento se basan en el mismo principio de balance de masas de los microorganismos y del sustrato dentro del reactor que, en condiciones de equilibrio estacionario, se resumen en:

$$\text{Efluente} = \text{Afluente} + \text{Crecimiento Neto} - \text{Purga} \quad (\text{Balance para Biomasa})$$

$$\text{Efluente} = \text{Afluente} - \text{Asimilación} \quad (\text{Balance para Sustrato})$$

Donde:

Purga	= Eliminación de microorganismos en forma de lodo
Crecimiento Neto	= Crecimiento neto de los microorganismos (Crecimiento - Endógena)
Asimilación	= Consumo de sustrato por los microorganismos
Afluente	= Cantidad de microorganismos o de sustrato que entra
Efluente	= Cantidad de microorganismos o de sustrato que sale

Norma OS.090 sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones

En el Perú, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en ejercicio de sus competencias técnicas normativas, ha establecido, a través de la Norma OS.090 sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones, los parámetros de diseño y control según cada proceso de tratamiento, así como otras consideraciones de diseño de observancia obligatoria.

En el Anexo N° 02 de esta Guía, se detalla cada uno de los parámetros, sus valores regulados y sus valores standard para una mayor referencia en el diseño de cada alternativa de tratamiento biológico.

Cabe señalar que, cualquiera sea la alternativa de tratamiento elegida, si no se tienen los cuidados necesarios durante el diseño, construcción, operación y mantenimiento, no se lograrán los objetivos de calidad para los cuales los sistemas de tratamiento fueron concebidos.

5.1 Procesos de Tratamiento Intensivo

Los procesos de tratamiento intensivos buscan intensificar los procesos biológicos que ocurren en la naturaleza, a fin de ocupar la menor área posible.

¿Cuándo es recomendable utilizarlos?

Cuando existen limitaciones en la disponibilidad de terreno en zonas urbanas o **cuando los costos de adquisición de estos terrenos son demasiado elevados**, sobre todo, si se tiene en consideración que las unidades de tratamiento deben estar lo más cerca posible a la fuente generadora de aguas residuales y al (los) punto(s) de descarga de las aguas residuales tratadas, a fin de evitar sobrecostos de recolección, bombeo y distribución con fines de reúso.

¿Cuáles son los principales procesos de tratamiento intensivo de las aguas residuales para fines de reúso en riegos de áreas verdes?

Se deben priorizar el uso de procesos de tratamiento con presencia de oxígeno (procesos aerobios) ya que los procesos de tratamiento anaerobio (sin oxígeno) generan gases como subproductos (principalmente metano CH₄ y el hidrógeno sulfurado H₂S) cuyas características organolépticas (olores) pueden ser detectados por la población cercana y ocasionar el rechazo de la ubicación de los sistemas.

A continuación en la Tabla 8 se listan como principales procesos de tratamiento intensivo que pueden ser usados en el tratamiento de aguas residuales con fines de reúso en el riego de áreas verdes:

Tabla 8. Sistemas intensivos de tratamiento de aguas residuales

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">LECHOS BACTERIANOS (Filtros Percoladores o Filtros Biológicos)</p>	<p>Se clasifica como un proceso de tratamiento biológico aerobio-anaerobio de cultivo fijo, alimentación intermitente y flujo pistón, debido a que las bacterias se adhieren al material que forma el lecho o material filtrante formando una película biológica o biomasa, cuya superficie expuesta a la atmósfera se encuentra en fase de crecimiento exponencial mientras que la parte interna, ausente de oxígeno, se encuentra en fase endógena.</p> <p>El agua residual es regada sobre el filtro en forma intermitente, entrando en contacto con la biomasa mientras desciende por el filtro, permitiendo a los microorganismos captar el oxígeno necesario para su metabolismo celular durante los periodos de intermitencia. Cuando el peso de la biomasa acumulada excede la capacidad de adherencia al lecho, se desprende y es purgada del sistema vía sedimentación secundaria, formando un lodo activo parcialmente digerido.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Reactor de Filtro Percolador [1]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PTAR de Filtros Percoladores - 1 reactor [2]</p> </div> </div> <p>Ventajas Respecto a los demás tratamientos intensivos: Bajo consumo de energía, siempre y cuando la aireación sea natural y se cuente con suficiente carga hidráulica para alimentar al reactor por gravedad.</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS	
<p>DISCOS BIOLÓGICOS (Sistemas Biológicos Rotativos de Contacto)</p>	<p>Se clasifica como un proceso de tratamiento biológico aerobio de cultivo fijo, alimentación intermitente y mezcla parcial, debido a que las bacterias se adhieren al disco para formar una película biológica.</p> <p>El disco sumergido parcialmente en el agua residual gira alrededor de su eje, permitiendo a la biomasa entrar en contacto alternado con la atmósfera para captar el oxígeno.</p> <p>La biomasa acumulada en el disco se desprende rápidamente, debido a su peso y a las fuerzas tensionales que actúan sobre la superficie del disco al sumergirse, promoviendo condiciones de crecimiento exponencial, cuyo exceso es removido del sistema vía sedimentación secundaria, formando un lodo activo no digerido.</p> <p>Los discos biológicos se encuentran siempre protegidos de la intemperie por cubiertas o estructuras, a fin de proteger a los equipos móviles y materiales plásticos que componen los discos de la radiación solar, así como evitar el congelamiento en climas fríos extremos.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="943 448 1420 730">  <p>Reactores de Disco Biológico [3]</p> </div> <div data-bbox="1464 448 1986 730">  <p>PTAR de Discos Biológicos - 2 reactores [4]</p> </div> </div> <p>Ventajas Bajo consumo de energía y la resistencia al frío ambiental.</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p>LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="371 523 913 815" style="width: 45%;"> <p>Es un proceso de tratamiento biológico aerobio de cultivo suspendido, alimentación continua y flujo pistón, donde las bacterias se encuentran en suspensión dentro del reactor biológico, gracias a un proceso de aireación forzada en reactores de forma alargada (relación ancho : largo 1:5), incrementándose paulatinamente la concentración de microorganismos a lo largo de la carrera de aireación.</p> <p>La biomasa se encuentra, principalmente, en fase estacionaria, logrando que la cantidad de alimento esté en equilibrio con la masa de microorganismos. La biomasa sedimentada es parcialmente recirculada al sistema y el resto removido del reactor, vía sedimentación secundaria, formando un lodo activo no digerido.</p> </div> <div data-bbox="936 411 1413 775" style="width: 20%;">  </div> <div data-bbox="1458 411 1973 775" style="width: 20%;">  </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Reactor Lodos Activados Convencional [5]</p> <p>PTAR de L.A. Convencional - 3 reactores [6]</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los Lechos Bacterianos y Discos Biológicos, es el alto rendimiento de remoción de materia orgánica.</p> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p>LODOS ACTIVADOS MEZCLA COMPLETA</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Se diferencia del proceso de lodos activados convencional por los reactores son de forma cuadrada (1:1). Esto permite a los microorganismos mantener la misma concentración dentro del reactor y aglutinarse formando flóculos que entran en contacto permanente con el oxígeno y el sustrato.</p> <p>La biomasa se encuentra, principalmente, en fase de crecimiento exponencial debido a los bajos periodos de retención celular.</p> <p>El exceso de biomasa es parcialmente recirculado al sistema y el resto removido del reactor, vía sedimentación secundaria, formando un lodo activo no digerido.</p> </div> <div style="width: 45%;">  <p>Reactor Lodos Activados Mezcla Completa [7]</p>  <p>PTAR de L.A. Mezcla Completa - 2 reactores [8]</p> <p>Ventajas Su ventaja competitiva, respecto a los Lechos Bacterianos, Discos Biológicos y Lodos Activados Convencional, es la flexibilidad de operación, alto rendimiento y alta carga de alimentación.</p> </div> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p>LODOS ACTIVADOS DE AERACIÓN PROLONGADA CONVENCIONAL</p>	<p>Se diferencia del proceso de lodos activados convencional en que emplea largos periodos de retención hidráulica y de retención celular, lo que permite que el reactor pueda ser alimentado con agua residual sin tratamiento primario, de modo que los sólidos sedimentables del agua residual cruda entran en suspensión y se homogenizan por la aireación forzada. La prolongada aireación da paso a la formación de bacterias nitrificantes de crecimiento lento que transforman el nitrógeno amoniacal en nitratos y nitritos, y la biomasa en el reactor se encuentra predominantemente en fase endógena. La producción de lodo es 50% menor que en sistemas de lodos activados convencionales, los que son sedimentados y parcialmente recirculados, el resto es purgado con características de lodo estabilizado.</p> <p>Dentro de esta clasificación se encuentran las llamadas "zanjas de oxidación" y "carrusel", que se caracterizan por generar un circuito hidráulico cerrado en flujo pistón. En los reactores de lodos activados de aireación prolongada, se suelen introducir tramos anóxicos (sin aireación) después de los tramos aireados, a fin de promover la desnitrificación (conversión de nitratos a nitrógeno atmosférico). Esto tiene como ventaja que permite la liberación de oxígeno, reduciendo las necesidades de aireación en el reactor.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>PTAR de Lodos activados de aireación prolongada convencional con 2 reactores [9]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Reactor Lodos activados de aireación prolongada tipo Carrusel [10]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PTAR Lodos activados de aireación prolongada tipo Carrusel de 2 reactores [11]</p> </div> </div> <p>Ventajas</p> <p>Sus ventajas competitivas son su capacidad de tratar aguas residuales sin unidad de tratamiento primario, su flexibilidad de operación, su alto rendimiento, la producción de lodo estabilizado y la posibilidad de desnitrificación.</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p>REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL (SBR – Sequencing Batch Reactor)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="398 576 913 930"> <p>En una variante del proceso de lodos activados de aireación prolongada, donde la operación del reactor se realiza por etapas, alternando la alimentación del sustrato y del oxígeno con la sedimentación del lodo activo (tipo batch), eliminando así la necesidad de incorporar unidades de sedimentación secundaria y, al mismo tiempo, permitiendo periodos no aireados que promueven la desnitrificación, sin necesidad de incrementar el tamaño del reactor.</p> </div> <div data-bbox="936 395 1429 794">  </div> <div data-bbox="1458 389 1944 788">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="936 820 1352 845"> <p>Reactor L.A. Aireación Prolongada (SBR) [12]</p> </div> <div data-bbox="1458 798 1935 852"> <p>PTAR de Lodos activados de aireación prolongada tipo SBR de 6 reactores [13]</p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto al proceso de lodos activados de aireación prolongada convencional, es que permite la desnitrificación sin necesidad de añadir volúmenes adicionales al reactor para incorporar zonas anóxicas y, en segundo lugar, evita la incorporación de unidades de sedimentación secundaria.</p> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA (MBR – Membrane Biological Reactor)</p>	<p>Es una variante del proceso de lodos activados, donde se junta el tratamiento secundario con el terciario, reemplazando el proceso de sedimentación secundaria, por la incorporación del proceso de filtración (vía membranas de ultrafiltración o minifiltración dentro del reactor). Así se logra desvincular el periodo de retención hidráulica con el periodo de retención celular, para lograr altos rendimientos y la purga de lodos ya estabilizados.</p> <p>Este sistema logra un sistema de tratamiento compacto cuya instalación puede adaptarse a la mayoría de condiciones del terreno, permitiendo incluso su soterramiento para lograr una alta integración paisajística.</p> <p>La calidad del efluente del reactor alcanza la aptitud necesaria para el riego tecnificado de áreas verdes sin necesidad de tratamientos adicionales.</p> <p>Adicionalmente, se suele incorporar una unidad de desinfección posterior para asegurar la aptitud microbiológica del efluente, cuando de riego de áreas verdes se trata, mitigando cualquier efecto negativo en la calidad del agua que pueda resultar de fallas en la operación o mantenimiento del sistema de riego.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="920 387 1431 746">  <p>Reactores de Lodos Activados (MBR) [14]</p> </div> <div data-bbox="1458 387 1989 746">  <p>PTAR de Lodos Activados (MBR) – 2 reactores [15]</p> </div> </div> <p>Ventajas Su ventaja competitiva, respecto a las demás variantes del proceso de lodos activados, es la elevada calidad del efluente apto para el reúso en riego de áreas verdes, así como un sistema de tratamiento compacto que evita la incorporación de unidades de sedimentación secundaria y filtración posterior.</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">REACTOR BIOLÓGICO DE LECHO MÓVIL FLUIDIZADO (MBBR – Moving Bed Biofilm Reactor)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Se trata de otra variante del proceso de lodos activados, donde se introduce, al interior del reactor, miles de pequeños dispositivos plásticos llamados "carriers", sobre los cuales se adhieren los microorganismos, formando una película biológica que asimila la materia orgánica biodegradable del agua residual.</p> <p>Esta configuración permite incrementar la densidad de microorganismos y, consecuentemente, reducir el volumen del reactor.</p> <p>El proceso no requiere recirculación de lodos, el exceso es purgado del sistema por sedimentación.</p> </div> <div style="width: 45%;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Reactor Lodos Activados (MBBR) PTAR María Reiche de Miraflores</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PTAR de Lodos Activados (MBBR) – 2 reactores PTAR María Reiche de Miraflores</p> </div> </div> <p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto a las demás variantes del proceso de lodos activados, es que permite una mayor densidad de microorganismos en el reactor, reduciendo los periodos de retención y, consecuentemente, el volumen del mismo.</p> </div> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PLANTAS COMPACTAS PREFABRICADAS</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Son unidades prefabricadas de materiales como Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) o planchas de acero inoxidable.</p> <p>En sus componentes se lleva a cabo el proceso de tratamiento de lodos activados de aireación prolongada, ya sea de cultivo suspendido o de cultivo fijo.</p> <p>Es apropiado para tratar caudales de agua residual producidos por pequeñas poblaciones, asentamientos temporales de difícil acceso o cuando se requiere una rápida instalación y puesta en marcha, puesto que sus características compactas permiten su rápido transporte e instalación, incluso vía aérea.</p> <p>Dado su modularidad, su capacidad de tratamiento está definida por el número de módulos de tratamiento que se instalen.</p> </div> <div style="width: 45%;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Plantas Compactas Prefabricadas (PRFV) [16]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Plantas Compactas Prefabricadas (Acero) [17]</p> </div> </div> <p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los demás sistemas de tratamiento secundario, es su tamaño compacto y modularidad, lo cual permite un rápido transporte, instalación y puesta en marcha.</p> </div> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

5.2 Procesos de Tratamiento Extensivos

Los procesos de tratamiento extensivos son aquellos que permiten a la naturaleza suministrar los elementos necesarios para la depuración de las aguas residuales, lo cual implica velocidades relativamente bajas de crecimiento bacteriano, que obligan a incrementar los periodos de retención y, consecuentemente, las dimensiones del reactor biológico.

¿Cuándo es recomendable utilizarlos?

Cuando no existen restricciones principalmente de disponibilidad de terreno, ni restricciones técnicas, ambientales y sociales, son opciones tecnológicas de menor costo de inversión, operación y mantenimiento.

En comparación a los procesos de tratamiento intensivos, los procesos de tratamiento extensivo requieren significativamente menores **extensiones de terreno** por el hecho de aplicar cargas superficiales muy pequeñas.


¿Cuáles son los principales procesos de tratamiento extensivo?

Son de dos tipos:

- **Cultivos Fijos** (recomendado para poblaciones con menos de 500 habitantes):
- **Cultivos libres**

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

A continuación se describen los principales de tipos de cultivos fijos:

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS	
FILTROS PLANTADOS DE FLUJO HORIZONTAL	<p>A diferencia de los anteriores, la alimentación es continua, con muy baja carga superficial, por lo que requiere mayores extensiones de terreno.</p> <p>Requiere decantación primaria para evitar la obstrucción del medio filtrante.</p>	 <p>PTAR Filtro Plantado de flujo horizontal [20]</p>
		<p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los demás procesos de tratamiento extensivo, es su mayor eficiencia en la remoción de nutrientes, además de la menor demanda de terreno (85% menos que las lagunas de oxidación facultativas).</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN	<div data-bbox="331 560 533 874"> <p>Tiene un principio similar a los Lechos Bacterianos, con la diferencia que son de muy baja carga (10 a 400 veces menos), lo que permite la autorregulación de la biomasa evitando la purga de lodos.</p> </div> <div data-bbox="555 424 1093 751">  </div> <div data-bbox="555 772 972 799"> <p>PTAR Infiltración - Percolación en Arena [18]</p> </div> <div data-bbox="562 863 667 890"> <p>Ventajas</p> </div> <div data-bbox="562 916 1070 1027"> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los demás sistemas de tratamiento extensivo, es su menor demanda de terreno (10 veces menos que para las lagunas de oxidación (detallado más adelante).</p> </div>

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
FILTROS PLANTADOS DE FLUJO VERTICAL	<div data-bbox="1240 485 1480 995"> <p>Proceso similar al anterior. Está compuesto por cultivos de cañas cuya función es mejorar la oxigenación del medio filtrante y remoción de nutrientes. No requiere de decantación previa; sin embargo, la ausencia de ésta puede generar obstrucción del sistema de distribución, generación de olores y atracción de vectores, motivo por el cual su incorporación al sistema es recomendable.</p> </div> <div data-bbox="1509 424 1975 751">  </div> <div data-bbox="1509 772 1906 799"> <p>PTAR Filtro Plantado de flujo vertical [19]</p> </div> <div data-bbox="1516 852 1621 879"> <p>Ventajas</p> </div> <div data-bbox="1516 904 1928 1043"> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los demás procesos de tratamiento extensivo, es la menor demanda de terreno (90% menos que las lagunas de oxidación facultativas).</p> </div>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

A continuación se describen los principales tipos de cultivos libres:

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS
LAGUNAS DE OXIDACIÓN FACULTATIVAS	<p>Proceso de tratamiento biológico donde el reactor está formado lagunas de aproximadamente 1.5m de profundidad, en donde se originan tres fases: aerobia (superficial), facultativa y anaeróbica (profunda).</p> <p>El oxígeno de la fase aerobia es suministrado por la algas a través de un intercambio de gases (consumo de CO₂ / producción de O₂) en la lámina de superior de agua.</p> <p>En las lagunas primarias, se produce la decantación de la materia orgánica sedimentable y suspendida, la cual es digerida anaeróbicamente en el fondo de la laguna, con periodos de retención de mínimo 10 días.</p> <p>En las lagunas secundarias, se remueve, principalmente, la materia orgánica coloidal y disuelta.</p> <p>En las lagunas terciarias o de maduración, se logra el mayor decaimiento bacteriano debido a la ausencia de sustrato, la respiración endógena y la exposición a la radiación solar.</p> <div data-bbox="1151 483 1686 831" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1151 855 1585 879">PTAR de Lagunas Facultativas de 2 series [21]</p> <p data-bbox="1151 979 1263 1003">Ventajas</p> <p data-bbox="1151 1034 1818 1121">Su ventaja competitiva, respecto a los demás procesos de tratamiento extensivo, es su bajo costo de inversión, operación y mantenimiento.</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

[... continuación]

SISTEMA	DESCRIPCIÓN / VENTAJAS	
LAGUNAS DE OXIDACIÓN AIREADAS	<p>Se trata de un proceso de tratamiento similar al proceso de lodos activados de mezcla completa, donde la biomasa se mantiene en suspensión por la aireación forzada, aunque también pueden ser facultativas, con mayores profundidades para permitir una fase anaerobia. El efluente debe ser decantado para remover los lodos en suspensión, los cuales pueden ser recirculados y/o purgados del sistema; estos últimos requieren tratamiento adicional por encontrarse parcialmente estabilizados.</p> <p>Eventualmente, cuando se requiera incrementar la carga superficial de una laguna facultativa debido al incremento de la demanda, se podrá optar por transformarla en laguna aireada</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Reactor de Laguna Aireada (con turbinas) [22]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PTAR de Laguna Aireada (con difusores) [23]</p> </div> </div> <p>Ventajas</p> <p>Su ventaja competitiva, respecto a los procesos de lodos activados convencionales, es que no requiere de sedimentación primaria y tiene un menor costo de inversión.</p> <p>Con respecto a las lagunas facultativas, su ventaja es que requiere de un área menor (50% a 75% menos).</p>

[Número] en fotos: consultar la lista de links útiles.

5.3 Criterios de Selección de Procesos de Tratamiento

Entre los principales criterios para la selección (ver Figura 15) del sistema más apropiado de tratamiento de aguas residuales con fines de Reúso en riego de áreas verdes en Lima Metropolitana, se encuentran:

1. Los niveles de servicio en términos de cantidad y calidad del efluente.
2. La disponibilidad del terreno
3. La calidad del afluente
4. Altitud y temperatura
5. Adecuación paisajística
6. Eficiencia de los procesos de tratamiento
7. Elementos para sostenibilidad

1. Los niveles de servicio. Este es el primer factor a considerar. Se debe tener claro el objetivo del proyecto, en términos de niveles de servicio:

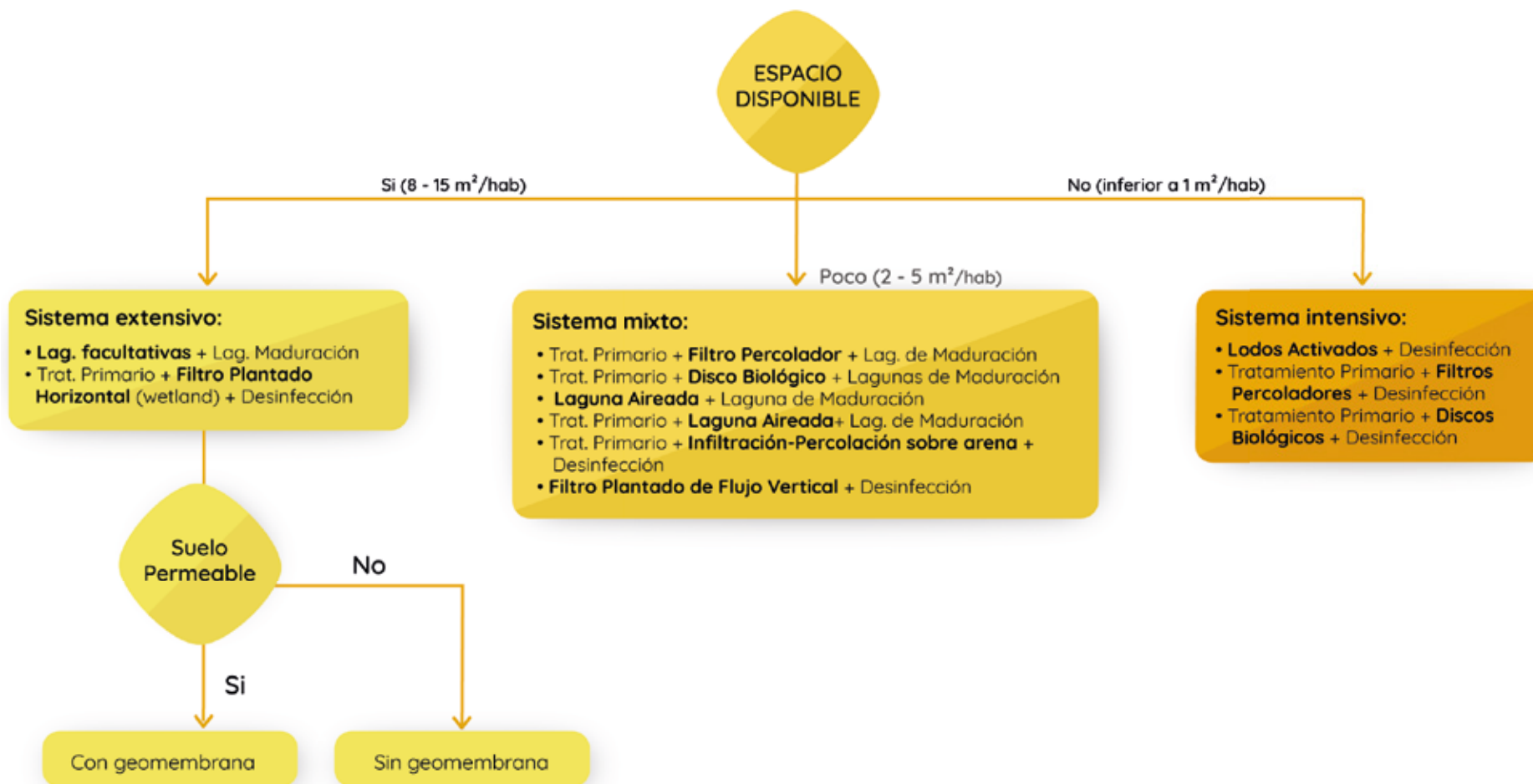
- i. La calidad del efluente dependerá de: (a) el tipo de reúso, con o sin acceso al público y/o exposición a los trabajadores (aptitud microbiológica) y (b) del sistema de riego a emplear: surcos, inundación, mangueras, aspersión o goteo (aptitud físico-química).
- i. Las aguas residuales crudas deberán ser sometidas a procesos de tratamiento preliminar, primario y/o secundario y terciario, con mayor o menor grado de eficacia en función de la calidad esperada del efluente.
- ii. La cantidad de efluente dependerá del dimensionamiento del módulo de riego, es decir, de (a) la demanda de agua diaria por cada especie vegetal a regar y (b) del sistema de riego a emplear: surcos, inundación, mangueras, aspersión o goteo, lo cual se expresa en caudal promedio diario (Qpd).

2. La disponibilidad de terreno. Factor muy importante porque determina el tipo de tratamiento biológico extensivo o intensivo que se podrá implementar. Lo ideal es encontrar un terreno ubicado cerca al centro de masa de las demandas de riego de áreas verdes a ser abastecidas; sin embargo, en la práctica, esto estará supeditado a la disponibilidad de terrenos de propiedad municipal o de áreas verdes públicas con suficiente espacio para albergar una PTAR (ver Figura 16).

Figura 15. Criterios de selección del proceso de tratamiento de AR con fines de reúso en riego de áreas verdes



Figura 16. Flujo para la selección de procesos de tratamiento en función de la disponibilidad de terreno



Todos los sistemas requieren tratamiento preliminar. En caso de usar riego tecnificado, los sistemas deberán complementarse con filtros de área o membranas previo a la desinfección o después de las lagunas de maduración.

Fuente: Guía para procesos extensivos de aguas residuales (CE, 2 001)

3. La calidad del afluente. En combinación con la calidad requerida del efluente (reúso en riego de áreas verdes), determinará el nivel de eficiencia de remoción requerido en base al cual se determina la opción tecnológica más apropiada. Las aguas residuales municipales a ser sometidas a tratamiento deben contar con las características físico-químicas y microbiológicas de propias de agua residual de zona residencial. Variaciones de estas características, por ejemplo por la incorporación de vertimientos industriales dentro de la zona de drenaje, podría desencadenar fallas en los procesos de tratamiento, disminución de la capacidad de producción y/o deterioro de la calidad del efluente.

4. La altitud y la temperatura. Ambos factores influyen en la capacidad de saturación de oxígeno en el agua y en la velocidad de asimilación de la materia orgánica por medio del metabolismo bacteriano de los tratamientos biológicos. Sin embargo, no son limitantes para la selección de procesos de tratamiento en Lima Metropolitana, dada la altitud por debajo de 500 msnm y la temperatura mínima atmosférica de 13 °C. Solamente el distrito de San Juan de Lurigancho, presenta conglomerados urbanos significativos, con altitud de hasta 1000 msnm.

5. La adecuación paisajística. En la selección de los procesos de tratamiento además se debe evaluar el nivel de alteración de paisaje generado por la potencial instalación del sistema de tratamiento y la capacidad de mitigación de sus impactos. Este factor está íntimamente ligado con la sostenibilidad socio-ambiental. Muchos proyectos se han retrasado en su construcción o no se han logrado construir por no considerar este aspecto.

6. La eficiencia de los procesos tratamiento. Una vez evaluados los factores previos, el tipo o tipos de tratamiento que se decida implementar dependerá de la eficiencia de cada uno de los mismos en la remoción de elementos no deseados (ver Tabla 9 y Tabla 10).

Tabla 9. Eficiencias de remoción de los principales procesos de tratamiento

PROCESO DE TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN MICROBIOLÓGICA (CICLOS LOG10)		
	DBO ₅	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	BACTERIAS	HELMINTOS	QUISTES
Sedimentación Primaria	25 - 30	40 - 70	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Lodos Activos ^(a)	70 - 95	70 - 95	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtros Percoladores ^(a)	50 - 90	70 - 90	0 - 2	0 - 1	1 - 2
Lagunas aireadas ^(b)	80 - 90	^(c)	1 - 2	0 - 1	0 - 1
Zanjas de oxidación ^(d)	70 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 1	
Lagunas de estabilización ^(e)	70 - 85	^(c)	1 - 6	1 - 4	2 - 4
Desinfección	-	-	1 - 6	1 - 3	0 - 1

(a) Precedidos y seguidos de sedimentación
 (b) Incluye laguna secundaria.
 (c) Dependiente del tipo de lagunas
 (d) Seguidos de sedimentación
 (e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma

Fuente: Feachem et-al. (1983); Mara et al. (1992); Yáñez (1992); RNE OS.090

Tabla 10. Eficiencia y principales características en procesos de Lodos Activos

PROCESO DE TRATAMIENTO	REMOCIÓN (%) DBO ₅	PERÍODO DE RETENCIÓN (Horas)	EDAD DEL LODO (día)	CARGA VOLUMÉTRICA (Kg DBO ₅ /m ³ , día)
LA Convencional	85 - 90	4 - 8	4 - 15	0,3 - 0,6
LA Aireación Escalonada	85 - 95	3 - 6	5 - 15	0,6 - 0,9
LA Alta Carga	75 - 90	2 - 4	2 - 4	1,1 - 3,0
LA Aireación Prolongada	75 - 95	16 - 48	20 - 60	0,2 - 0,3
LA Mezcla Completa	85 - 95	3 - 5	5 - 15	0,8 - 2,0
LA Zanjas de oxidación	75 - 95	20 - 36	30 - 40	0,2 - 0,3

Fuente: RNE OS.090

7. La sostenibilidad, en sus diferentes dimensiones:

Sostenibilidad operativa: La entidad pública o privada que operará el sistema de tratamiento deberá contar con la capacidad técnica y solvencia económica para operar y mantener la infraestructura de tratamiento. En general, los procesos de tratamiento intensivos requieren mayor capacidad del operador para garantizar la eficiencia del tratamiento y en consecuencia la calidad del efluente.

Sostenibilidad económica - financiera: ya sea que la PTAR sea construida como obra pública o a través del mecanismo de APP, el repago de la inversión provendrá de recursos públicos (incluyendo los arbitrios municipales), con lo cual la selección de la mejor alternativa de tratamiento deberá contar con una evaluación de la capacidad presupuestal.

Sostenibilidad política: antes de tomar la decisión de tratar las aguas residuales para reúso en riego de áreas verdes, se debe evaluar que:

- a. No exista acceso a otras fuentes de agua factibles de ser usadas (ejemplo excedentes de otras plantas de tratamiento),
- b. Las fuentes de agua disponibles tienen mayor costo, como por ejemplo el riego con aguas superficiales o el riego con agua potable.

De otra forma, existe el riesgo de que la decisión de destinar recursos para la operación y mantenimiento de la PTAR no sea continuada por las próximas autoridades municipales y que la inversión efectuada pueda terminar en abandono.

Sostenibilidad socio-ambiental: la infraestructura del sistema de tratamiento deberá estar ubicada en una zona del ámbito distrital minimizando cualquier alteración al paisaje.

Las poblaciones aledañas podrían rechazar la instalación de una PTAR cerca a sus viviendas, por lo que su ubicación debe estar bien sustentada con una clara delimitación del área de influencia directa.

Este aspecto va más allá del criterio normativo (100m para lodos activados y filtros

percoladores, 200 m para lagunas facultativas, 500 m para lagunas anaerobias), ya que, con el tiempo, el crecimiento poblacional tenderá a invadir las distancias establecidas inicialmente entre la zona residencial y la PTAR.

En ausencia de terrenos disponibles, como en el caso de zonas residenciales consolidadas, es apropiado seleccionar sistemas de tratamiento intensivos debido a la cercanía a la población y la buena integración al paisaje



Foto 6. Vista General de la PTAR Godofredo García bajo administración de la Municipalidad de San Isidro. Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

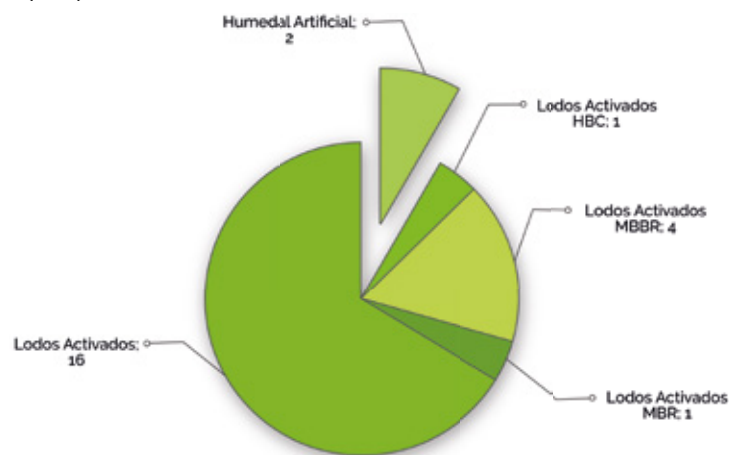
CAPÍTULO 6: SISTEMAS MUNICIPALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTES EN LIMA METROPOLITANA (ESTUDIOS DE CASO)

De las 24 PTARs bajo administración municipal, inventariadas en la primera sección de la Guía, más de 90% de ellas usa la tecnología de **Lodos activados** (ver Figura 17 y Figura 18).

Los principales criterios considerados para ésta selección probablemente han sido:

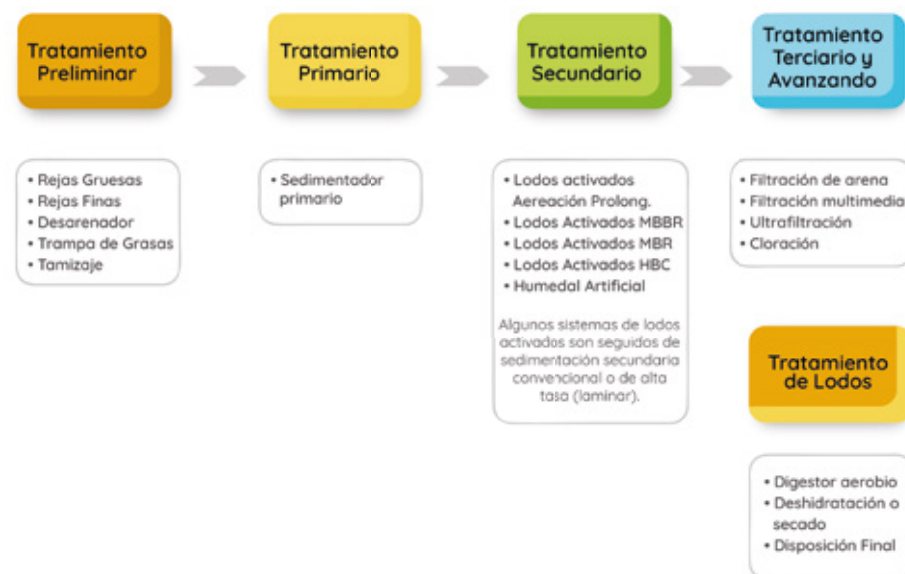
- i) Requiere menos espacio que otras tecnologías de uso extensivo,
- ii) No genera olores, por tratarse de un proceso aerobio, lo que es ideal para su ubicación en áreas verdes de las zonas residenciales,
- iii) La infraestructura puede soterrarse para evitar impactos visuales negativos, en lugares públicos,
- iv) Presenta elevadas eficiencias comparativas de remoción de DBO₅ y SST,
- v) En proceso de aireación prolongada, los lodos purgados se encuentran estabilizados; es decir, no requiere procesos posteriores.

Figura 17. Tipos de procesos de tratamiento en sistemas Municipales de Lima Metropolitana (2016)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18. Descripción de los procesos de tratamiento en sistemas municipales de Lima Metropolitana (2016)



Fuente: Elaboración Propia

Perspectiva general de la situación actual de los sistemas municipales de tratamiento de aguas Residuales en Lima Metropolitana

Las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el ámbito municipal se encuentran en buen estado de operación y mantenimiento. Esto es especialmente cierto en aquellas plantas que se encuentran bajo concesión por parte de las municipalidades vía Asociación Público - Privada (APP). Bajo esta modalidad, el operador privado tiene la facultad de realizar acciones rápidas de mantenimiento

o adquisición de materiales, insumos y contrataciones, debido a que no se encuentra sometido a los controles presupuestales y procesos de adquisiciones y contrataciones del Estado, como sí lo están los municipios distritales, EMAPE y SERPAR. No obstante, se evidencia debilidad institucional-técnica de los municipios para realizar la supervisión del servicio que prestan los concesionarios.

Por otro lado, la Municipalidad se encuentra limitada en términos de capacidades técnicas para la operación y mantenimiento de sus PTARs. En el caso de la administración directa existe un déficit de recursos humanos capacitados para mantener la operatividad y realizar el mantenimiento de la infraestructura, así como para realizar los controles de calidad rutinarios que garantizan el cumplimiento de los requisitos de calidad del agua residual tratada, destinada para el riego.

Las PTARs más antiguas (construidas antes del año 2010) no cuenta con autorizaciones de vertimiento de aguas residuales que, hasta dicha fecha, eran emitidas por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Con la creación de la Autoridad Nacional del Agua y los requisitos para la obtención de la autorización de vertimiento o autorización de reúso de aguas residuales tratadas (R.J 224-2013-ANA), se ha logrado que las autoridades ambientales y de recursos hídricos tengan un mayor nivel de control. Los operadores deben obtener la aprobación del instrumento ambiental otorgado por la autoridad ambiental sectorial competente, que es requisito para el trámite de la autorización de vertimiento o de reúso de aguas residuales tratadas.

El Anexo N°01 detalla el estado de algunos sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales para riego de áreas verdes. En él se presenta un estudio de caso llevado a cabo durante la formulación de la presente Guía que es producto de la inspección a seis (06) sistemas municipales de tratamiento:

1. Caso PTAR Parque María Reiche bajo Concesión de la M.D. de Miraflores
2. Caso PTAR Parque Juan Pablo II bajo Concesión de la M.D. de San Miguel
3. Caso PTAR El Migrante bajo administración directa de SERPAR
4. Caso PTAR Cahuide bajo administración directa de SERPAR
5. Caso PTAR Malecón Godofredo García bajo administración de la M.D. de San Isidro
6. Caso PTAR Estadio Municipal bajo administración directa de la M.D. de La Molina



Foto 7. Bombas de succión del filtro MBR y macromedidor de agua tratada de la PTAR del parque zonal Cahuide bajo administración de SERPAR. Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

4

PRINCIPALES IDEAS DE ESTA SECCIÓN

01.

Para fines de reúso en el riego de áreas verdes, las aguas residuales municipales crudas deben ser tratadas hasta alcanzar los niveles necesarios respecto a la aptitud microbiológica y aptitud físico - química, requeridas por la normatividad de calidad aplicable.

04.

Los criterios de selección más importantes de los procesos de tratamiento son:

- Los niveles de servicio en términos de cantidad y calidad del efluente.
- La disponibilidad del terreno
- La calidad del afluente
- Altitud y temperatura
- Adecuación paisajística
- Eficiencia de los procesos de tratamiento
- Elementos para sostenibilidad

02.

Para que el agua residual tratada alcance la aptitud microbiológica y físico-química óptima requerida, debe ser sometida a procesos de tratamiento para la remoción de elementos no deseados. Estos son:

- Tratamiento preliminar o pre tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

03.

Los tratamientos secundarios se pueden clasificar como:

- Tratamientos intensivos
- Tratamientos extensivos

SECCIÓN III

Aspectos económico-financiero y mecanismos de asociación público privada (APP)



Preguntas clave:

- ¿Cómo se lleva a cabo la evaluación económica y financiera de proyectos de PTARs para riego de áreas verdes?
- ¿En qué consiste una APP y qué pasos debes seguir para su implementación?

Al finalizar la sección,

Identificarás los principales aspectos económicos y financieros involucrados en los proyectos de tratamiento de aguas residuales para el riego de áreas verdes, así como los requerimientos para implementar una PTAR a través de un proyecto de APP.



Contenido



CAPÍTULO 7: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO

En este capítulo, abordaremos los aspectos clave de la evaluación económica y financiera de un proyecto para el riego de áreas verdes con aguas residuales tratadas, así como los criterios principales que se deben considerar.

Para llevar a cabo la evaluación económica y financiera de un proyecto de PTAR para riego de áreas verdes, se debe considerar tres (03) niveles:

- i) Análisis de viabilidad del reúso de las aguas residuales tratadas en riego de áreas verdes,
- ii) La evaluación económica para analizar alternativas de tratamiento y
- iii) La estructuración financiera, cuando se decida incorporar financiamiento privado al proyecto.

7.1 Análisis de viabilidad del reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de las áreas verdes municipales

Como punto de partida se debe realizar la comparación de costos entre el uso de cada una de las fuentes disponibles para el riego de áreas verdes municipales; además, se debe realizar un análisis particular de aquellos aspectos que favorecen y no favorecen a la iniciativa del reúso de aguas residuales tratadas.

Aspectos que favorecen:

- El déficit de superficie de áreas verdes por habitante, en la ciudad de Lima, puede ser revertido con el uso de aguas residuales tratadas en riego. Según últimos estudios no existen recursos hídricos superficiales disponibles sobre los cuales otorgar derechos de uso, sobre todo en la condición más crítica de estiaje (invierno austral).
- Si bien el crecimiento urbano está liberando recursos hídricos destinados al uso agrícola, éstos ya están reservados para fines poblacionales. Asimismo, el aprovechamiento

agrícola, éstos ya están reservados para fines poblacionales. Asimismo, el aprovechamiento de los recursos que hoy en día son descargados al mar en épocas de lluvia o avenida (verano austral), están a la espera que se concreten las grandes obras de regulación que permitan asegurar el abastecimiento de agua potable para los habitantes de Lima y Callao.

- La opción de suscribir un contrato de suministro de agua potable con SEDAPAL, podría ser contemplada como una solución rápida por los municipios para el tema del riego, sin embargo:
 - i) Es poco probable que SEDAPAL pudiese otorgar la factibilidad del servicio,
 - ii) La tarifa a pagar sería de categoría Comercial, 63% más alta que la categoría Estatal, a pesar que el contratante fuese el Municipio, y
 - iii) Se estaría incumpliendo el principio de protección del ambiente y uso eficiente del agua establecido en el Decreto Legislativo N°1280⁸.

- La existencia de mecanismos como APP, para formular e implementar proyectos de reúso de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes en el ámbito municipal es vista como una oportunidad de ahorro y uso eficiente del recurso hídrico.

Aspectos que no favorecen:

Mientras exista disponibilidad de aguas superficiales a una tarifa baja, existirá la tendencia a no usar aguas residuales tratadas, salvo situaciones de escasez del recurso hídrico, que debe ser declarada formalmente por la autoridad competente. Por otro lado, la existencia de derechos de uso (con carácter indefinido) con que cuentan varios municipios de Lima para abastecerse por gravedad, a través de canales de riego (canal Surco, canal Huatica y canal Ate). Además de los trámites que implica el reúso con fines de riego (certificación ambiental, autorización de reúso de aguas residuales tratadas) a cuenta de quién aprovechará el recurso, lo hacen, el reúso, menos atractivo para los municipios.

⁸ El Art. 128° del Proyecto de Reglamento del DL 1280 – Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, establece que “...las entidades del gobierno nacional, gobiernos regionales y gobiernos locales, instituciones públicas y privadas utilizan, de manera preferente, agua residual tratada para el riego de áreas verdes, parques y jardines, así como para el desarrollo de otras actividades que no requieran necesariamente el uso de agua potable”.

En resumen :

Aspectos QUE FAVORECEN el reúso con fines de riego de áreas verdes:

- Incremento de la superficie de área verde por habitante (cumplimiento de lo recomendado por OMS).
- Recursos hídricos liberados.
- Altas tarifas de SEDAPAL por metro cúbico de agua potable, en categoría comercial, cuando el agua es utilizada en riego.
- Poco probable obtener factibilidad de servicio (para el riego con agua potable) de SEDAPAL.
- Incumplimiento del principio de protección del ambiente y uso eficiente del agua establecido en el Decreto Legislativo N°1280 y su reglamento.
- Existencia de mecanismos (como APP) para formular e implementar proyectos de reúso de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes.

Aspectos QUE NO FAVORECEN el reúso con fines de riego de áreas verdes:

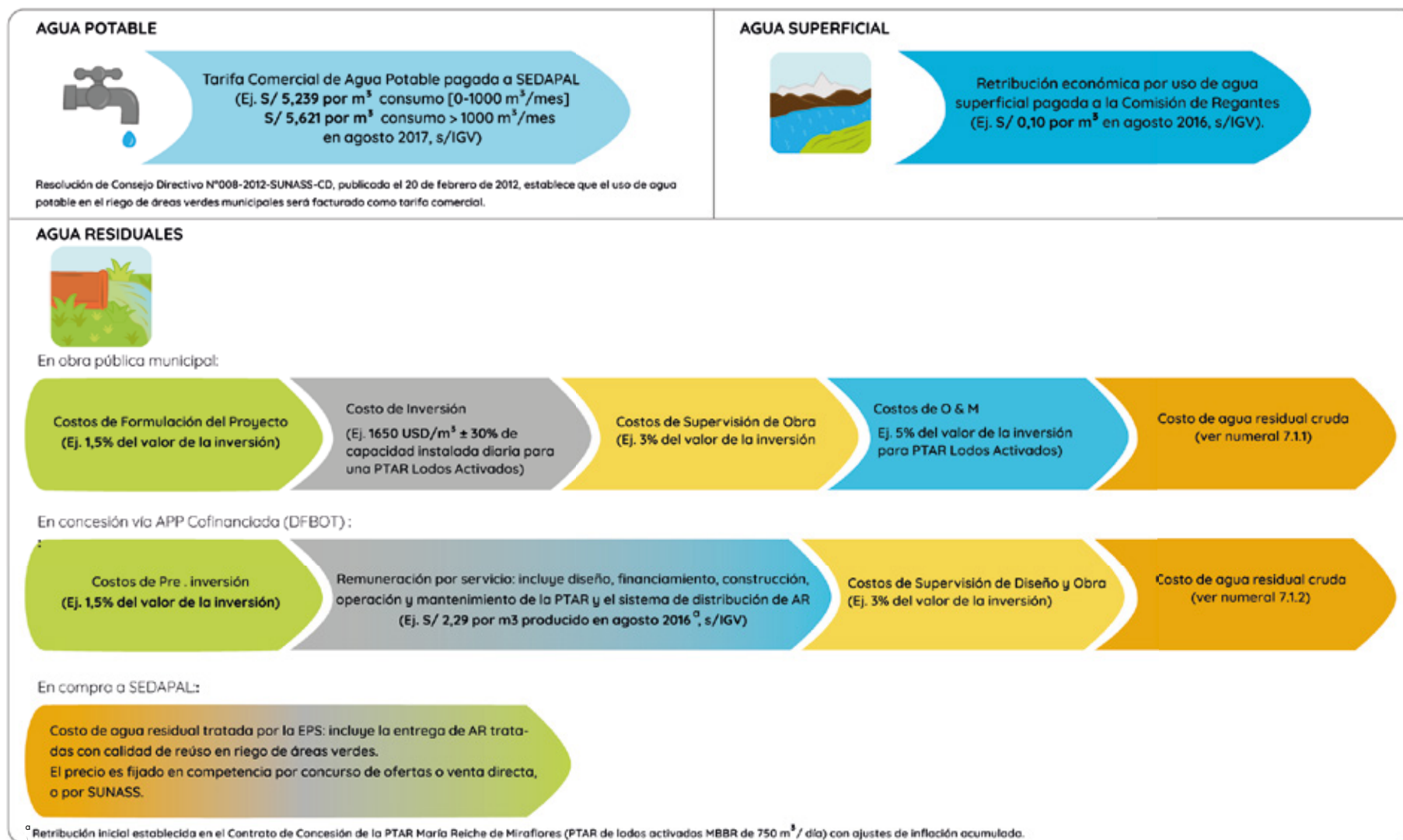
- Disponibilidad de contar con aguas superficiales a una tarifa baja, incrementa la tendencia a no usar aguas residuales tratadas
- Derechos de uso de agua superficial vigentes e indefinidas otorgadas a algunos municipios.
- Aparentes mayores costos asociados (instalación de infraestructura para tratamiento, monitoreo/ control de calidad de efluente, costos de operación y mantenimiento)
- Trámites para obtener certificación ambiental y posterior licencia de uso de aguas residuales tratadas.

La Figura 19 muestra los costos asociados considerando tres alternativas de recurso hídrico que puede ser usado como fuente (agua potable, agua superficial y aguas residuales).



Foto 8. Áreas verdes perimetrales del Estadio Municipal de La Molina regadas con agua residual tratada. Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

Figura 19. Descripción de costos asociados a cada alternativa



7.1.1 Costo de agua residual cruda o tratada

Los conceptos de “costo de aguas residuales tratadas” o “costo de aguas residuales crudas” surgen en el marco legal de la prestación de los servicios de saneamiento en los años 2013 y 2016 respectivamente, y finalmente, en el 2017, en el Decreto Legislativo N° 1280. A través de este decreto y su reglamento (DS N°019-2017-VIVIENDA); SEDAPAL y el resto EPS (Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento) a nivel nacional, quedan facultados para comercializar tanto las aguas residuales tratadas como las crudas.

El Municipio (o quien haga sus veces, en caso de una Tercerización o Concesión de PTAR Municipal), que contrate con la EPS el suministro de agua residual cruda, agua residual tratada y/o residuos sólidos, será responsable de:

- Gestionar la factibilidad de conexión y ejecutarla, bajo supervisión de la EPS,
- Obtener las autorizaciones y permisos que se requieran,
- Asumir la responsabilidad de todos los riesgos asociados,
- Efectuar el control de la calidad de las aguas residuales con fines de reúso,
- Gestionar los riesgos sanitarios y ambientales asociados,
- Cumplir con las normas vigentes referentes al transporte y conducción de las aguas residuales y residuos sólidos adquiridos,
- Financiar los costos del tratamiento necesario para el reúso del agua residual y/o residuos sólidos,
- Disponer los subproductos del tratamiento conforme la normativa vigente (Está prohibida la eliminación de los residuos sólidos en los sistemas de alcantarillado),
- Contratar una póliza de seguro de responsabilidad civil,
- Ejercer responsabilidad solidaria con cualquier operador especializado contratado.

En la comercialización del agua residual cruda o tratada no debe perderse de vista que:

- SEDAPAL y las Municipalidades son entidades públicas,
- El costo de tratamiento y distribución de aguas residuales para riego de áreas verdes será retribuido por los usuarios de SEDAPAL, que son los mismos contribuyentes municipales,
- La infraestructura de tratamiento de SEDAPAL ha sido total o parcialmente subsidiada por el Estado y los costos de explotación de la misma están cubiertos por la tarifa,

- Todo reúso de aguas residuales libera a SEDAPAL de la Retribución Económica por Vertimiento que paga a la ANA, generando un ahorro y,
- Todo reúso de aguas residuales tratadas libera recursos hídricos que SEDAPAL puede destinar para fines poblacionales.

Por lo tanto, debería exceptuarse de dicha norma, al reúso de aguas residuales con fines de riego de áreas verdes, darle prioridad a dicho uso sobre cualquier otro, y solo retribuir a los prestadores de servicios de saneamiento por los servicios diferenciados que preste con fines de reúso en riego de áreas verdes.

7.2 Evaluación económica para seleccionar la alternativa de tratamiento

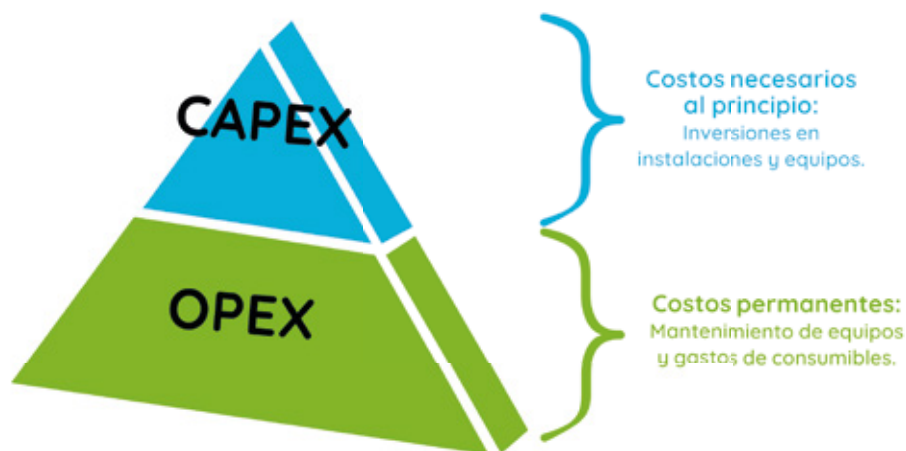
El marco general para la evaluación económica de los proyectos es el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Inverte.pe), Decreto Legislativo N° 1252 y su reglamento, DS-027-2017-EF. Según este sistema, el ciclo de las inversiones (Figura 20) comprende cuatro fases: la programación multianual (PMI), la formulación y evaluación del proyecto (estudios de preinversión), la ejecución (elaboración del expediente técnico y ejecución del proyecto) y el funcionamiento (reporte de estado de activos, plan de operación y mantenimiento, evaluación expost).

Figura 20. Ciclo de las inversiones según Inverte.pe



Por otro lado, la selección de la alternativa de solución más apropiada se sustentará en la comparación de sus costos de inversión o gastos de capital (Capital Expenditure=CAPEX) y los costos de operación y mantenimiento o gasto operativo (Operating Expenses=OPEX) (ver Figura 21).

Figura 21. CAPEX y OPEX



7.2.1 Nivel de complejidad y tipo de estudios de preinversión

Según el Invierte.pe la fase de formulación y evaluación se inicia con la elaboración de fichas técnicas o estudios de preinversión, dependiendo de la complejidad del proyecto. En la Tabla 11 se detallan los rangos de montos de inversión y el nivel de estudio de preinversión requerido.

Tabla 11. Nivel de estudio según tipología de proyecto

COMPLEJIDAD	MONTO DE INVERSIÓN (CAPEX)		NIVEL DE ESTUDIO DE PRE-INVERSIÓN	APLICABILIDAD VIA APP
	UIT	MILLONES DE S/. (2018)		
Baja	≤750	< 0 - 3,1125]	Ficha Técnica simplificada	No Aplicable
Media	< 15 000	< 3,1125 - 62,25 >	Ficha Técnica Estándar	Iniciativa Estatal
Alta	≥ 15 000	[62,25 - 1 689,05>	Perfil	Iniciativa Estatal o Privada
	≥ 407 000	[1 689,05 - ∞	Perfil Reforzado	

Fuente: Elaboración Propia
1 UIT= s/. 4 150 (año 2018)

Según los rangos de inversión, por ejemplo, para un proyecto de PTAR para riego de áreas verdes municipales cuyo monto de inversión se estime menor a 15 000 UIT, se deberá elaborar una **Ficha Técnica Estándar**, en donde se podrá determinar costos a **nivel paramétrico**, es decir, a partir de información secundaria. Posteriormente, en la fase de ejecución, en caso el proyecto se ejecute vía obra pública, los costos reales se determinarán durante la formulación del expediente técnico. Si el proyecto se desarrolla vía APP como Iniciativa Estatal, será la competencia, durante la fase de transacción, quien determine el valor de mercado del proyecto por debajo del valor referencial establecido.

7.2.2 Costos de inversión, operación y mantenimiento y otros

Los costos de inversión dependerán, principalmente de:

- i) El costo del terreno y
- ii) El costo de instalación del sistema de tratamiento (infraestructura y equipamiento).

En el marco de un estudio de pre-inversión, deberán estudiarse ambos factores:

- El **costo del terreno**, deberá ser valorizado (inclusive cuando sea de propiedad municipal) sobre todo cuando las alternativas a comparar tengan requerimiento de áreas significativamente diferente (ejemplo entre tratamiento intensivo y extensivo).

- **Costos de instalación de los sistemas de tratamiento**, son costos necesarios para instalar la infraestructura y el equipamiento de los sistemas. A nivel de estudios de preinversión se utilizan costos para estimación paramétrica de los presupuestos (ver Tabla 12) para obtener ordenes de magnitud que permitan sustentar la disponibilidad presupuestal y ensayar un probable esquema de financiamiento.

Tabla 12 . Costos directos para estimación paramétrica de presupuestos de proyectos de sistema de tratamiento de aguas residuales municipales según opción tecnológica

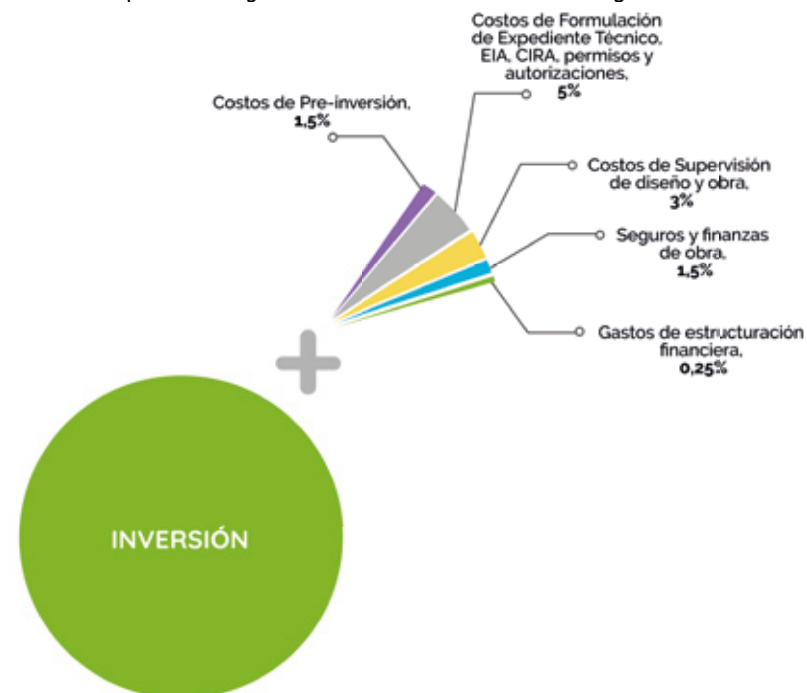
	Lodos activados	Filtros percoladores	Discos biológicos	Lagunas aireadas	Lagunas facultativas	Infiltración-percolación	Wetlands
CAPEX (USD/m³)	1 320 (± 30%)	1 035 (± 50%)	1 262 (± 45%)	746 (± 50%)	689 (± 60%)	1 090 (± 50%)	1 090 (± 35%)
OPEX (% de CAPEX)	5,00%	3,89%	3,18%	5,00%	3,75%	3,16%	2,89%

Fuente: Adaptación de la Guía para procesos extensivos de aguas residuales, para una PTAR de 750 m³/día como la PTAR María Reiche. No incluyen otros componentes, gastos generales, utilidad o impuestos (CE, 2001)

Adicional a los costos directos (ver Figura 22) , se deben incorporar otros costos tales como:

- **Costos de Pre-inversión:** aprox. 1.5% del valor de la inversión
- **Costos de Formulación de Expediente Técnico, EIA, CIRA, permisos y autorizaciones:** aprox. 5% del valor de la inversión
- **Costo de supervisión de diseño y obra:** aprox. 3% del valor de la inversión
- **Seguros y fianzas de obra:** aprox. 1.5% del valor de la inversión
- **Gastos de estructuración financiera:** aprox. 0.25% del valor de la inversión

Figura 22. Costos para un Proyecto PTAR con fines de reúso en riego de áreas verdes



Fuente: Elaboración Propia

En la sección IV se presenta un ejemplo para realizar esta evaluación.

7.2.3 Evaluación Económica de Alternativas

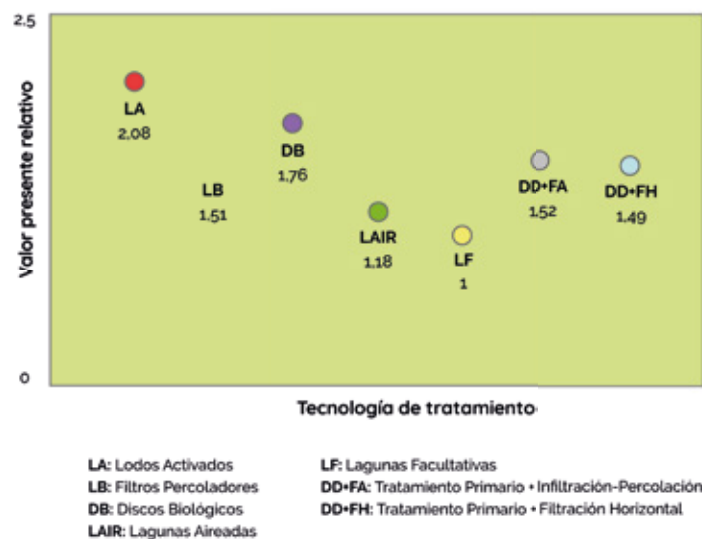
Para el análisis de selección de la mejor alternativa se parte de la premisa que van a obtenerse los mismos beneficios, independientemente de la alternativa de tratamiento (metodología costo – efectividad). Para tales efectos, se determina el Valor Presente (VP) de los flujos de costos (inversión, operación y mantenimiento) de cada alternativa, y se comparan los resultados, seleccionando aquella cuyo VP sea el menor.

$$\text{Costo de la Alternativa} = \text{VP (CAPEX + OPEX)}$$

Como referencia, la Comunidad Europea estima que el uso de procesos extensivos debería permitir, para una capacidad idéntica, realizar un ahorro medio del 20% al 40% sobre el CAPEX, y del 40% al 50% sobre el OPEX, con respecto a los sistemas de depuración intensivos. Sin embargo, como ya hemos visto en el numeral 5.3, se deberá hacer una selección o exclusión de alternativas, previo al análisis de costos, que dependerá de una serie de factores que deben ser tomados en consideración.

En la Figura 23, se puede apreciar, en términos relativos, el Valor Presente (VP) de los costos de inversión y explotación, para un periodo de 25 años, con diferentes sistemas de tratamiento. Los extremos corresponden al sistema de tratamiento de **Lodos activados** que representa más del doble que los sistemas de **Lagunas facultativas**.

Figura 23. Valor presente relativo de diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Guía para procesos extensivos de aguas residuales (CE, 2001)

7.3 Estructuración Financiera del Proyecto

Cuando el municipio no cuente con la disponibilidad presupuestal para financiar, íntegramente, el costo de inversión del proyecto de tratamiento de aguas residuales, podrá optar por diferentes mecanismos de financiamiento, directos o indirectos, preferiblemente en soles, a fin de evitar riesgos por el tipo de cambio.

Mecanismos de financiamiento directo: corresponde al financiamiento contratado directamente por la municipalidad con agentes financieros, tales como la Banca Comercial Local (Ej. Banco de la Nación) y los Fondos Cooperantes. De acuerdo a la normativa, los préstamos adquiridos por entidades del Estado con fondos cooperantes internacionales requieren contar con el refrendo del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

Las condiciones de financiamiento son variables. Sin embargo, normalmente, se pueden encontrar con plazos de amortización de 10 a 20 años y periodos de gracia de 5 años, a las siguientes tasas: Banca Comercial entre 8% y 15% y Fondos cooperantes con aval del Estado, entre 2% y 5%.

Mecanismos de financiamiento indirecto: corresponde al financiamiento adquirido por un privado, bajo el mecanismo de APP, cuyo repago por parte de la municipalidad se realizará a través de la retribución del servicio prestado a lo largo del periodo de concesión. Dicha retribución se puede dar a través de tres mecanismos de pago, los dos primeros con mayor aceptación por el Estado:

- **Pago por Disponibilidad.** - Es la retribución a la inversión por todo el proyecto, pagada a través de cada unidad de servicio producida y entregada, equivalente a una tarifa (Soles/m³), ajustada solo por inflación. La retribución se inicia con la puesta en operación y entrega del servicio. El costo del financiamiento es mayor que en el resto de mecanismos de pago; sin embargo, el riesgo para el Estado de “no terminación” de la obra es mínimo.
- **Pago por Hito Funcional.** - Es la retribución a la inversión por cada componente del proyecto, que puede funcionar independientemente del resto de componentes (Ej. PTAR y Red de Distribución). Certificada la puesta en marcha del primer componente o hito funcional, se otorga un certificado de avance de obra (CAO) que garantiza el pago en las condiciones previamente establecidas (10 o 15 años de pago), lo cual permite levantar

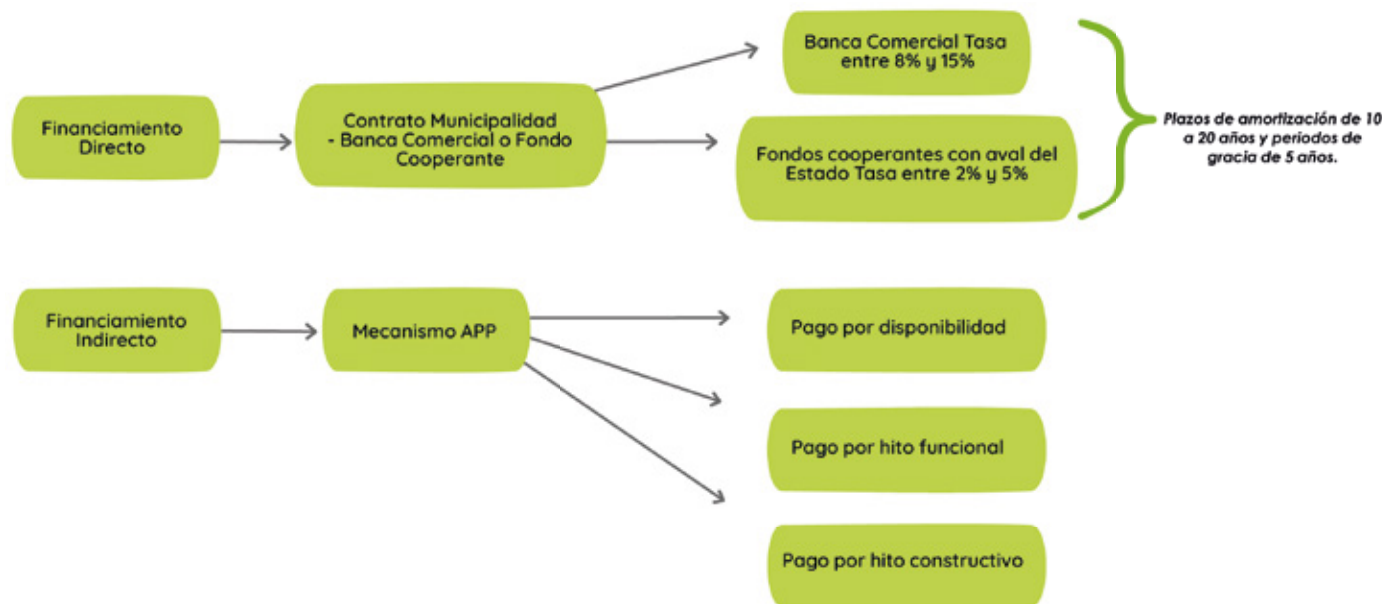
recursos financieros del mercado de capitales para financiar el siguiente hito funcional. Este mecanismo obliga a extender el cronograma de ejecución de obra para poner en secuencia cada hito funcional.

- **Pago por Hito Constructivo.** - Es la retribución a la inversión por cada porción de obra avanzada, idealmente 10 hitos constructivos con valor de 10% cada uno, de tal manera que, por cada hito, se entrega un certificado de avance de obra (CAO) que garantiza el pago en las condiciones previamente establecidas (10 o 15 años), lo cual permite levantar recursos financieros del mercado de capitales para financiar el siguiente hito constructivo, y así seguidamente hasta terminar la obra. La retribución de los hitos se inicia en una fecha fija, independientemente de la puesta en operación y entrega del servicio, lo cual permite levantar recursos financieros del mercado de capitales a un menor costo. Sin embargo, traslada el riesgo de “no terminación” de la obra al Estado.

Durante la Fase de Estructuración (Figura 24) de una APP cofinanciada, descrita en el siguiente capítulo, se deberá efectuar la estructuración financiera del proyecto, a fin de simular las condiciones de financiamiento del privado lo que, a su vez, permitirá determinar el valor de referencia del concurso, equivalente al valor máximo que el Estado está dispuesto a retribuir por el servicio de tratamiento y distribución de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes.

El Anexo N°04 de la Guía contiene algunos parámetros de referencia que pueden ser útiles para una primera aproximación al tema, especialmente para fines de la elaboración del Informe de Evaluación de una APP.

Figura 24. Estructuración Financiera posible para la implementación una PTAR con fines de reúso en riego de áreas verdes



CAPÍTULO 8:

ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA (APP) COMO MECANISMO DE FINANCIAMIENTO

Si bien el riego de parques y jardines públicos es responsabilidad de las municipalidades, éstas no necesariamente cuentan con la capacidad para construir, operar y mantener la infraestructura necesaria para el tratamiento de las aguas residuales con fines de reúso en riego de áreas verdes. Por esta razón, el mecanismo Asociación Público Privada (APP), bajo la modalidad de concesión, se presenta como una alternativa de financiamiento que incorpora la participación del sector privado especializado, quienes pueden encargarse del diseño, financiamiento, construcción, operación y mantenimiento de este tipo de infraestructura, y de esta manera contribuir en la sostenibilidad.

8.1 Requerimientos para un proyecto de APP para PTAR Municipal

El marco legal que sustenta las Asociaciones Público Privadas (APP) en el Perú es establecido por :

- **Decreto Legislativo 1362:** Ley que regula la promoción de la inversión privada mediante asociaciones público privadas y proyectos en activos, y su reglamento Decreto Supremo N° 240-2018-EF.
- Los Decreto Legislativo 1224 y sus modificatorias fueron derogadas por el Decreto Legislativo 1362.

Este capítulo 8 aborda, exclusivamente, el marco legal vigente de APP aplicable a este tipo de proyectos.

8.1.1 La clasificación de la APP

Dado que los recursos municipales destinados al riego de áreas verdes provienen de los **arbitrios** por concepto de “riego de parques y jardines” y que lo más probable es que tales recursos sean los que, a través de un fideicomiso, sirvan para retribuir el servicio prestado por el concesionario de la PTAR municipal, conforme el artículo 12° del Reglamento del DL 1224, correspondería clasificar al proyecto como **cofinanciado**.

Tal condición implica, entre otras cosas, que el proyecto deberá ser **declarado viable** en la fase de formulación, en el marco del **Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe)**, ya sea que se trate de una iniciativa de origen estatal (IE) o de una iniciativa de origen privado (IP). Cada una debe cumplir condiciones particulares:

- **Proyecto por Iniciativa Estatal Cofinanciada (IEC):** para conducir el proyecto por esta vía, el Comité de Inversiones municipal debe haber formulado, previamente, el **Informe Multianual de Inversiones de APP** que incluya un “Proyecto de tratamiento y reúso de aguas residuales para riego de áreas verdes municipales”. Dicho informe deberá ser aprobado por acuerdo de Concejo Municipal, previa opinión no vinculante de PROINVERSIÓN. El citado informe abarca 3 años de planificación y se actualiza anualmente, a más tardar el **16 de abril de cada año**.
- **Proyecto por Iniciativa Privada Cofinanciada (IPC):** a diferencia del caso anterior, no es requisito obligatorio para que una entidad privada presente un “Proyecto de tratamiento y reúso de aguas residuales para riego de áreas verdes municipales”, que el proyecto esté comprendido en el Informe Multianual de Inversiones en APP. Sin embargo, tratándose de una IPC de competencia local, ésta deberá ser **presentada** ante **PROINVERSIÓN**, dentro de los **90 días calendario de cada año**, quien será responsable de evaluar su admisibilidad. Previamente, **el año inmediato anterior** (según los plazos establecidos por el MEF), la municipalidad deberá haber publicado, vía el portal web de PROINVERSIÓN, las necesidades de intervención, así como la capacidad presupuestal máxima con la que el municipio cuenta para asumir compromisos vía IPC, con evaluación previa del MEF.

8.1.2 Plazos y monto mínimo de inversión de una APP

Para que califique como una APP se deberá tener en cuenta los plazos y montos de inversión (Figura 25):

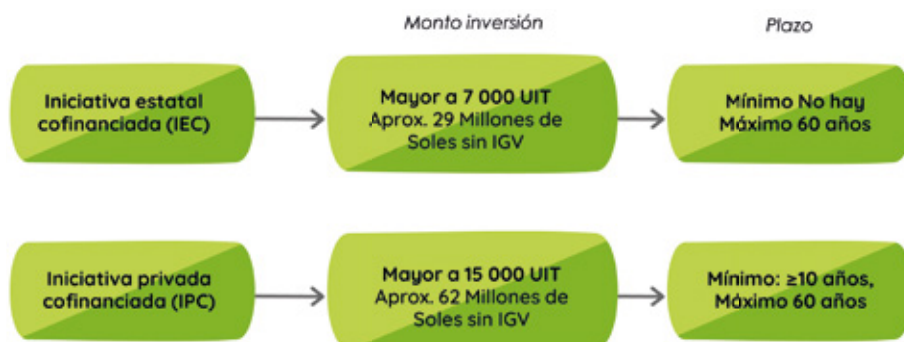
- **Proyecto por Iniciativa Estatal Cofinanciada (IEC):** deberá tener un Costo Total de la Inversión¹⁰ **mayor a 7 000 UIT**, sin límite mínimo en el plazo y máximo de 60 años. Considerando el valor de UIT del año 2018, el costo de la inversión deberá ser como

¹⁰Es el valor presente de los flujos de inversión estimados en la identificación del proyecto o en el último estudio de pre-inversión, según corresponda. El Costo Total de Inversión no incluye los costos de operación y mantenimiento. La tasa de descuento a ser utilizada para el cálculo del valor presente será aquella que la entidad defina en función al riesgo del proyecto, la misma que deberá contar con el sustento respectivo”. Anexo Definiciones del D.S. N° 410-2015-EF, Reglamento del DL 1224.

mínimo de S/ 29 Millones de Soles (sin IGV). Ello sería equivalente a 6 o 7 plantas como la PTAR María Reiche de Miraflores, de 750 m³/día; es decir, aproximadamente 5 000 m³/día de aguas residuales tratadas para regar alrededor de 110 ha, lo cual es casi la totalidad del área verde del distrito de San Borja.

• **Proyecto por Iniciativas Privadas Cofinanciadas (IPC):** deberá tener un Costo Total de Inversión superior a quince mil (15 000) y plazos contractuales \geq 10 años hasta un máximo de 60 años. Considerando el valor de UIT del año 2018, el costo de la inversión deberá ser como mínimo aproximadamente S/. 62 Millones de Soles (sin IGV). Ello sería equivalente a 13 o 14 plantas como la PTAR María Reiche de Miraflores, de 750 m³/día; es decir, aproximadamente 10 000 m³/día para regar alrededor de 220 ha, lo cual es casi la totalidad del área verde del distrito de Villa El Salvador.

Figura 25. Clasificación del mecanismo de asociación público privada (APP)



Estas condiciones difieren, considerablemente, de las vigentes antes de la publicación del D.L. 1224, puesto que los proyectos de APP no tenían límite al monto de inversión y el repago vía arbitrios no se consideraba cofinanciamiento. Es por tal razón que los proyectos de PTARs de las municipalidades del Callao (PTAR Aguas del Callao), Miraflores (PTAR Parque María Reiche) y San Miguel (PTAR Parque Precursores y Parque Juan Pablo II) que cuentan actualmente con contrato suscrito, fueron clasificados como autofinanciados con menores montos de inversión.

8.2 Pasos para una APP Cofinanciada

De acuerdo a las normas señaladas, las APP, independientemente de su clasificación y origen, se sujetan a las siguientes fases:

1. Planeamiento y Programación,
2. Formulación,
3. Estructuración,
4. Transacción y
5. Ejecución Contractual.

Dado que un proyecto de PTAR Municipal se clasifica como APP **Cofinanciada**, los pasos a seguir para la promoción de la inversión privada sólo se diferencian en el hecho de si esta inversión se origina en una Iniciativa Estatal (Municipal) o en una Iniciativa Privada. Estos pasos, de acuerdo al DL 1362 y su reglamento, se resumen en la Figura 26. Los flujogramas del proceso de promoción pueden ser descargados de la página web de PROINVERSIÓN¹¹.

El plazo estimado del proceso de promoción de inversión privada, desde la concepción de un proyecto de APP hasta su adjudicación, varía ampliamente debido a diversos factores tanto internos como externos al Organismo Promotor de la Inversión Privada. Sin embargo, **en ninguno de los casos podría ser menor a 2 años**. No obstante, como se aprecia en la Figura 26, la conducción de una iniciativa de origen privado (IPC) requiere muchos más pasos que la de origen público (IEC).

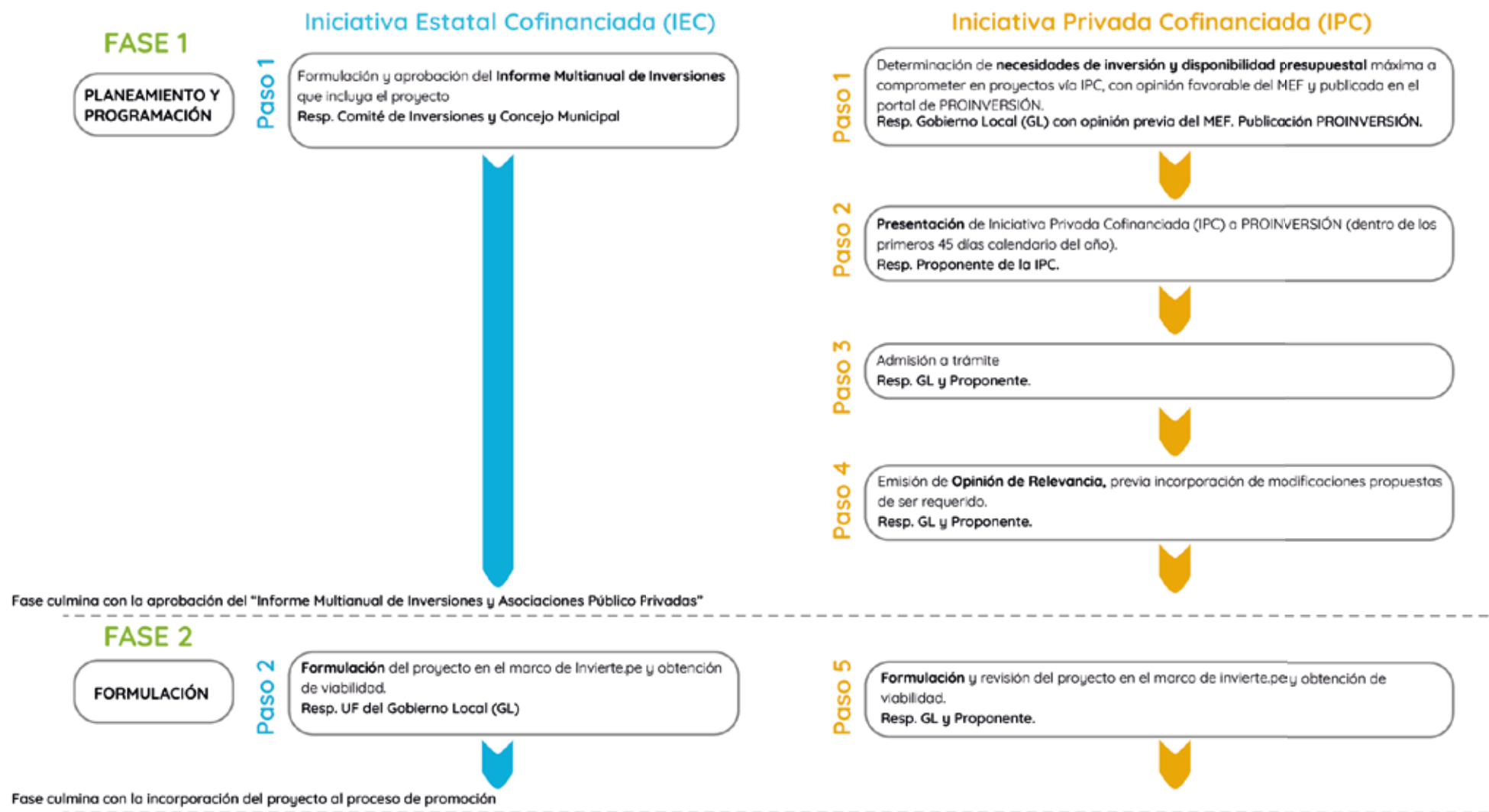
¹¹Disponible en: <http://www.proinversion.gob.pe>

Uno de los hitos clave en el proceso de promoción de una iniciativa privada cofinanciada es la Declaratoria de Interés. Antes de contar con esta declaratoria, la iniciativa tiene carácter de gracia para el Organismo Promotor; es decir, si la iniciativa se rechaza antes de ese momento, no se reconocerá, al Proponente, ningún gasto en el que haya incurrido como parte de la formulación del proyecto. Luego de la Declaratoria de Interés, el Proponente tendrá derecho a que se le reconozcan los gastos en los que haya incurrido, en caso la iniciativa, finalmente, sea rechazada antes de su adjudicación. Es por ello que, antes de la Declaratoria de Interés, debe revisarse, evaluarse y aprobarse el valor de los gastos incurridos por el Proponente en la formulación del proyecto.



Foto 9. Poblaciones asentadas cerca a las riberas del río Rímac. Foto: ProACC

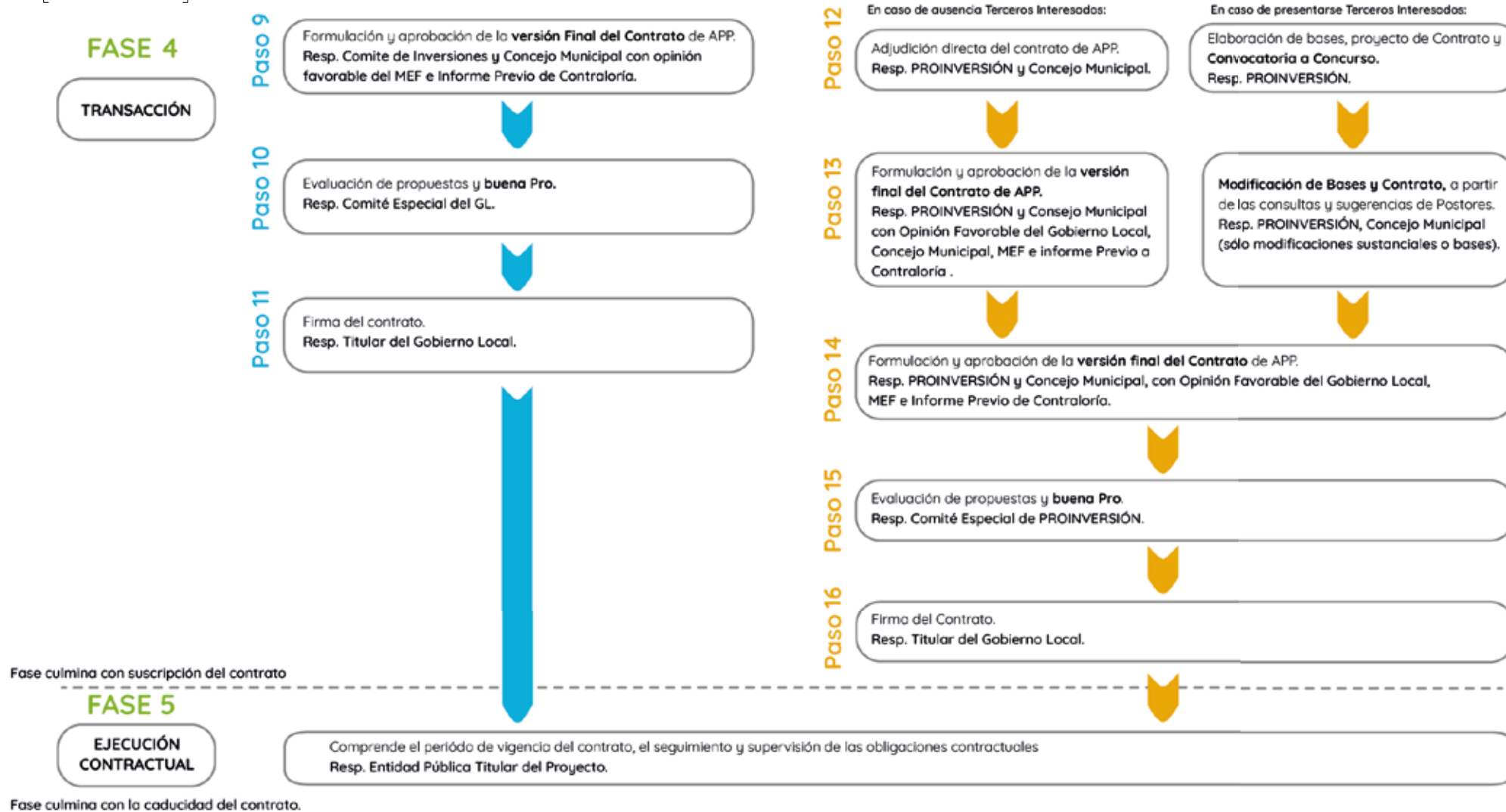
Figura 26. Pasos para una APP Cofinanciada



[... continuación]



[... continuación]



Fuente: Elaboración Propia

4

PRINCIPALES IDEAS DE ESTA SECCIÓN

Para llevar a cabo la evaluación económica y financiera de un proyecto de PTAR para riego de áreas verdes, se deben considerar:

- i) La evaluación económica para tomar la decisión de regar con aguas residuales tratadas, analizando los costos de cada una de las fuentes disponibles para el riego de áreas verdes municipales;
- ii) La evaluación económica para analizar alternativas de tratamiento, a partir de la determinación de los costos de inversión (CAPEX) y los costos de operación y mantenimiento (OPEX) de cada alternativa; y
- iii) La estructuración financiera, cuando se decida incorporar financiamiento privado al proyecto.

01.

04.

Un proyecto de PTAR puede implementarse como un Proyecto por Iniciativa Estatal Cofinanciada (IEC) o como un Proyecto por Iniciativa Privada Cofinanciada (IPC), siempre que cumpla con los requisitos mínimos, entre ellos, un monto mínimo de inversión de 7000 UIT y 15000 UIT, respectivamente.

02.

El mecanismo de Asociación Público Privada (APP), bajo la modalidad de concesión, es una alternativa para incorporar la participación del sector privado en la implementación de PTARs municipales con fines reúso en el riego de áreas verdes. Este es un modelo que ayudaría a fomentar la construcción, operación y mantenimiento de este tipo de PTARs superando las limitaciones técnicas de los Gobiernos Locales.

03.

Las APP, independientemente de su clasificación y origen, se desarrollan en las siguientes fases: a. Planeamiento y Programación, b. Formulación, c. Estructuración, d. Transacción y e. Ejecución Contractual (DL 1362 y su reglamento DS 240-2018-EF).

SECCIÓN IV

Aspectos Normativos para el reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes



Preguntas clave:

- ¿Cuáles son los principios y normas que reglamentan el tratamiento de aguas residuales para riego de áreas verdes en Lima Metropolitana?
- ¿Porqué es importante obtener una autorización de reúso de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes, ante la Autoridad Nacional del Agua?
- ¿Cuáles son los pasos y requisitos para obtener una autorización de reúso ?

Al finalizar la sección,

Identificarás los principales políticas, normas y reglamentos aplicables al reúso de las aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes.



Contenido



SECCIÓN IV

ASPECTOS NORMATIVOS PARA EL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN EL RIEGO DE ÁREAS VERDES

Capítulo
09

Marco normativo aplicable al reúso de las aguas Residuales tratadas



CAPÍTULO 9:

MARCO NORMATIVO APLICABLE AL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Las aguas residuales son consideradas recurso hídrico del Estado y patrimonio de la Nación. Su uso y disposición están reguladas por la Ley 29338: Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento D.S. N° 001-2010-AS. El uso y la gestión integrada de este recurso, en el cual se encuentra incluidas las aguas residuales, se rigen por los siguientes principios: [1] Principio de valoración del agua y su gestión integrada; [2] Principio de prioridad en el acceso al agua; [3] Principio de participación de la población y cultura del agua; [4] Principio de seguridad jurídica; [5] Principio de respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas; [6] Principio de sostenibilidad; [7] Principio de descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad única; [8] Principio precautorio; [9] Principio de eficiencia; [10] Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica y [11] Principio de tutela jurídica.

Los principios [1] y [9] son los de mayor relevancia para el reúso de aguas residuales en riego de áreas verdes. La valoración del agua y su gestión implica reconocer el valor económico, ambiental y sociocultural, además de su rol como sustento natural de los ecosistemas. Por otro lado, el uso eficiente del agua considera reducir el desperdicio de agua e incrementar el reúso de aguas residuales tratadas como sustituto de otras fuentes.

9.1 Políticas

La Ley N°29338 establece que la Autoridad Nacional de Agua es el ente rector en materia de recursos hídricos. Por su parte, las principales políticas para la promoción del reúso de aguas residuales tratadas, forman parte del sistema nacional de los recursos hídricos según lo señalado en el artículo 11 de la mencionada ley.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento como integrante del sistema nacional de recursos hídricos ejerce función normativa de las actividades sectoriales que se encuentran bajo su competencia y que están relacionadas con la gestión de recursos hídricos.

Lineamientos de Política sobre reúso de aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes RM N° 176-2010-VIVIENDA.

Establecen lineamientos de política sectorial para la promoción del tratamiento de las aguas residuales domésticas y municipales con fines de reúso en riego de áreas verdes urbanas y periurbanas. En este marco, dos de los cinco lineamiento de política promueven el reúso en la política nacional de saneamiento mediante las siguientes medidas (1) Incluir estrategias sectoriales para el reúso de las aguas residuales domésticas y municipales tratadas (2) Uso de tecnologías efectivas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales para el riego de aguas verde urbanas y periurbanas deberá ser parte de la política nacional de saneamiento.

Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento Decreto Legislativo N° 1280 y su reglamento DS N°019-2017-VIVIENDA.

Establece que los prestadores de servicios de saneamiento, como SEDAPAL, implementan tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales, a fin de cumplir los LMP y ECA, de acuerdo a Ley, evitando la contaminación de cuerpos naturales de agua y promoviendo el reúso de las aguas residuales (Art. 26.1).

El artículo 130 del reglamento faculta a los prestadores de servicios de saneamiento a brindar a “terceros”, con la correspondiente contraprestación: (1) el agua residual tratada, residuos sólidos y subproductos del proceso de tratamiento, con fines de reúso; (2) el servicio de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso; (3) el agua residual sin tratamiento para fines de reúso, a condición que los terceros realicen las inversiones y asuman los costos de operación y mantenimiento para su tratamiento y reúso. Los “terceros” a los que se refiere la norma, podrían ser los propios municipios o sus unidades especializadas, como SERPAR, o un concesionario

contratado por la municipalidad para tal fin.

Deroga la Ley N° 26338 – Ley General de los Servicios de Saneamiento, y Ley N° 30045 – Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento, con excepción del artículo 3° que crea al Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS). Sus reglamentos se mantienen vigentes en lo que no se oponga al DL 1280, hasta la entrada en vigencia de su reglamento.

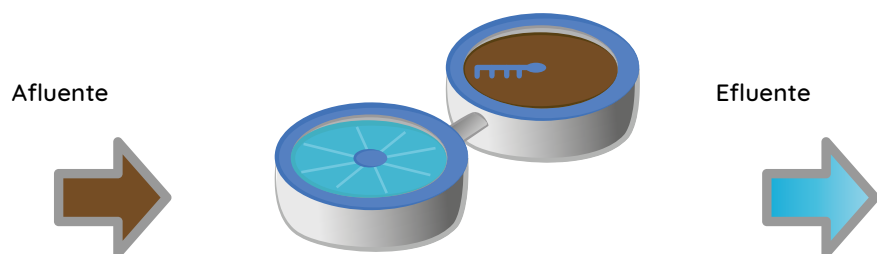
Reglamento de la Calidad de los Servicios de Saneamiento RCD N° 011-2007-SUNASS-CD y su modificatoria mediante RCD N° 008-2012-SUNASS-CD.

En torno al reúso, principalmente se establece que:

- Al uso de agua potable suministrada por una EPS en el riego de áreas verdes, se aplica la tarifa comercial. Esto incentiva el reúso de agua residual tratada como sustituto de agua potable por representar menos costos para el usuario.
- Los parques y jardines deberán ser regados, preferiblemente, con aguas residuales tratadas.

9.2 Normas de referencia para la evaluación de calidad de los afluentes y efluentes de las PTARs

Considerando el esquema siguiente, se han establecido las normas vigentes aplicables para los afluentes y efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales.



• Control de calidad de los afluentes a las PTAR

Aprobación de los VMA D.S. N° 021-2009-VIVIENDA y su modificatoria D.S. N° 001-2015-VIVIENDA Reglamento de aplicación de los VMA D.S. N° 003-2011-VIVIENDA y D.S. N° 010-2012-VIVIENDA.

Establece los valores máximos admisibles (VMA) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las descargas de aguas residuales, no domésticas, al sistema de alcantarillado. Incluye las obligaciones económicas que debe asumir quien exceda las concentraciones de los VMA aprobados, así como las penalidades por descargar elementos prohibidos. Esta norma es importante porque permite controlar la calidad del afluente de las PTAR minimizando el riesgo de desequilibrio de los procesos unitarios del tratamiento.

• Control de calidad de los efluentes de las PTAR

Guías y Directrices de la OMS para reúso de aguas residuales. Se emplean como referencia, dado que no existen valores límite establecidos por las autoridades sectoriales del Perú, utilizando como principio la evaluación del riesgo para la salud de los grupos humanos expuestos. El desarrollo de estas normas específicas se han presentado en el capítulo 4 de la sección II

Límites Máximos Permisibles de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales para vertimiento – D.S. N° 003-2010-MINAM. Aplicable a los efluentes de todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, antes de ser vertidos a cuerpos de agua natural (ríos, lagos, mar). No aplicable para determinar la viabilidad del reúso de aguas residuales en riego de áreas verdes.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) – D.S N° 002-2008-MINAM, modificado mediante D.S. N° 015-2015-MINAM y D.S. N°004-2017-MINAM.

Establecen categorías ambientales para los diferentes tipos de cuerpo de agua (ríos, lagos y mar) y los estándares de calidad ambiental que deben cumplir. No es aplicable para el reúso de aguas residuales, puesto que las aguas residuales no son generadas por la naturaleza sino por las actividades antropogénicas.

9.3 Normatividad técnica para el diseño de PTARs y reaprovechamiento de lodos

Norma OS. 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones – D.S. N° 006-2011-VIVIENDA.

Esta norma establece los criterios técnicos para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales. Determina los estudios necesarios para elaborar proyectos de plantas, eficiencias de remoción mínimas y los parámetros de control según cada tipo de proceso de tratamiento biológico. Además, establece las distancias mínimas entre una PTAR y asentamiento humanos y las exigencias para la estabilización y disposición final de lodos. El anexo 3 describe aspectos importantes del reúso y la disposición de lodos en mayor detalle.

Normatividad Técnica para el Reaprovechamiento de Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales “Biosólidos” y su reglamento R.M. N°015-2017-VIVIENDA.

Regula los procedimientos para autorizar el reaprovechamiento de lodos de PTARs. Establece la obligatoria estabilización orgánica de los lodos, el cumplimiento de LMP de concentraciones de metales pesados y calidad microbiológica para calificar como biosólidos, las condiciones para aplicación de los biosólidos, y las tecnologías autorizadas para la estabilización e higienización de lodo. Además, define las condiciones para la supervisión y control de los lodos.

9.4 Normatividad para la obtención de la Autorización de Reúso de aguas residuales tratadas

Las competencias y procedimiento de autorización de reúso de aguas residuales han sido establecidas en la **Ley de Recursos Hídricos – Ley 29338**, que crea la Autoridad Nacional del Agua y define la competencia de las Autoridades Administrativas del Agua (AAA) para emitir autorizaciones de reúso de aguas residuales, así como la obligación de solicitar dicha autorización por parte de quienes hagan uso efectivo del recurso. En esta ley se exceptúa el reúso de aguas residuales de retribución económica, como un mecanismo de incentivo para su aprovechamiento.



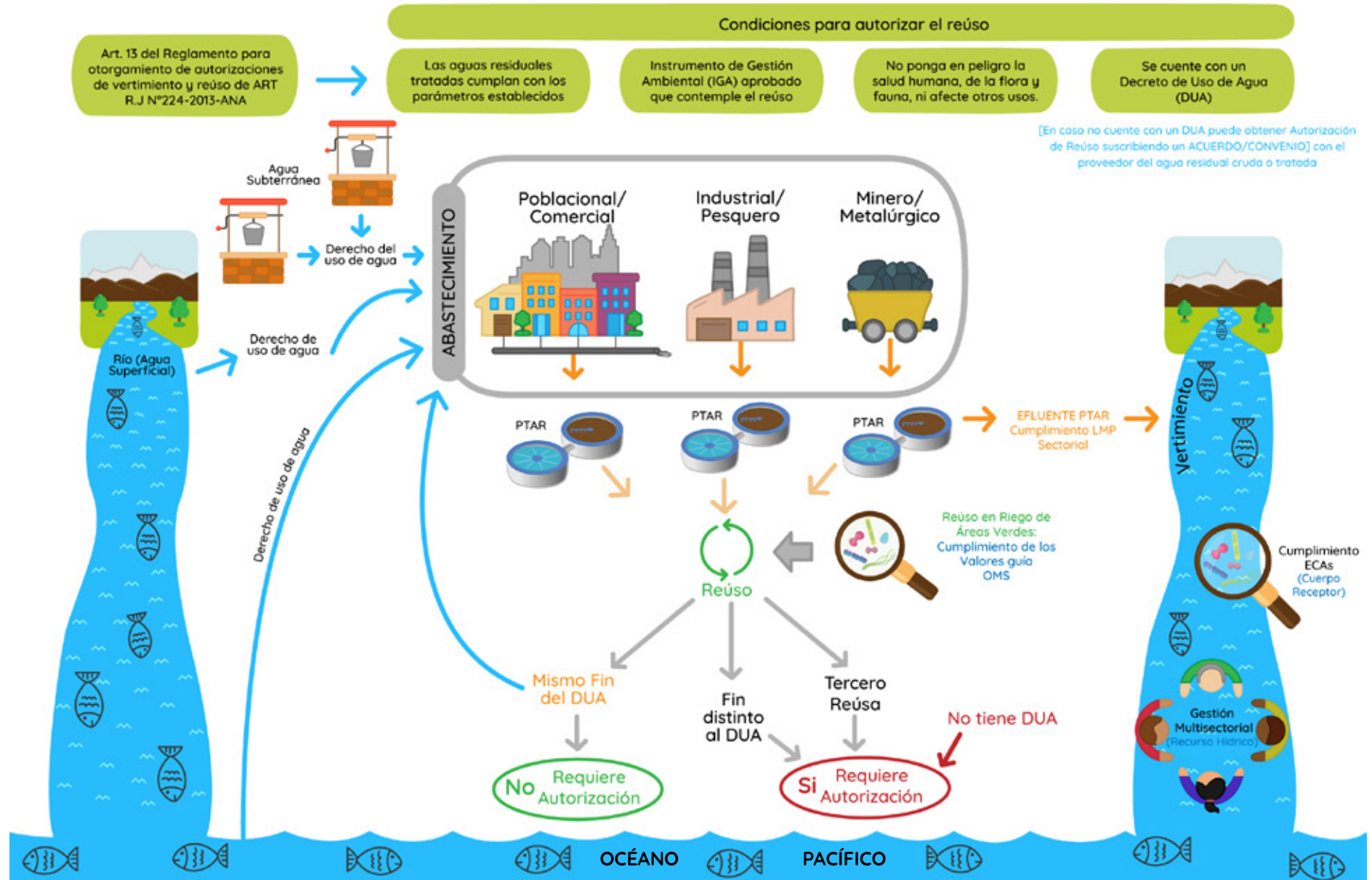
Foto 10. Representantes municipales revisando los requisitos para la autorización de reúso.
Foto: ProACC

El **reglamento de la Ley de RRHH, D.S. 001-2010-AG, y su modificatoria D.S 006-2017-AG**, establece las condiciones de obligatoriedad de la obtención de la autorización de reúso, exceptuándose de ello a quienes cuenten con derechos de uso de agua que tengan el mismo fin que el reúso materia de solicitud. Las autorizaciones de reúso serán evaluadas por la Autoridad, tomándose en cuenta los valores de calidad del agua que establezca el sector al cual pertenece el reúso o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud. El D.S 006-2017-AG modifica el procedimiento para el otorgamiento de las autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas y su supervisión.

Mediante la R.J. N° 684-2010-ANA delega la competencia de otorgar autorizaciones de reúso a la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH), para aquellas jurisdicciones que aún no cuenten con una Autoridad Administrativa del Agua implementada.

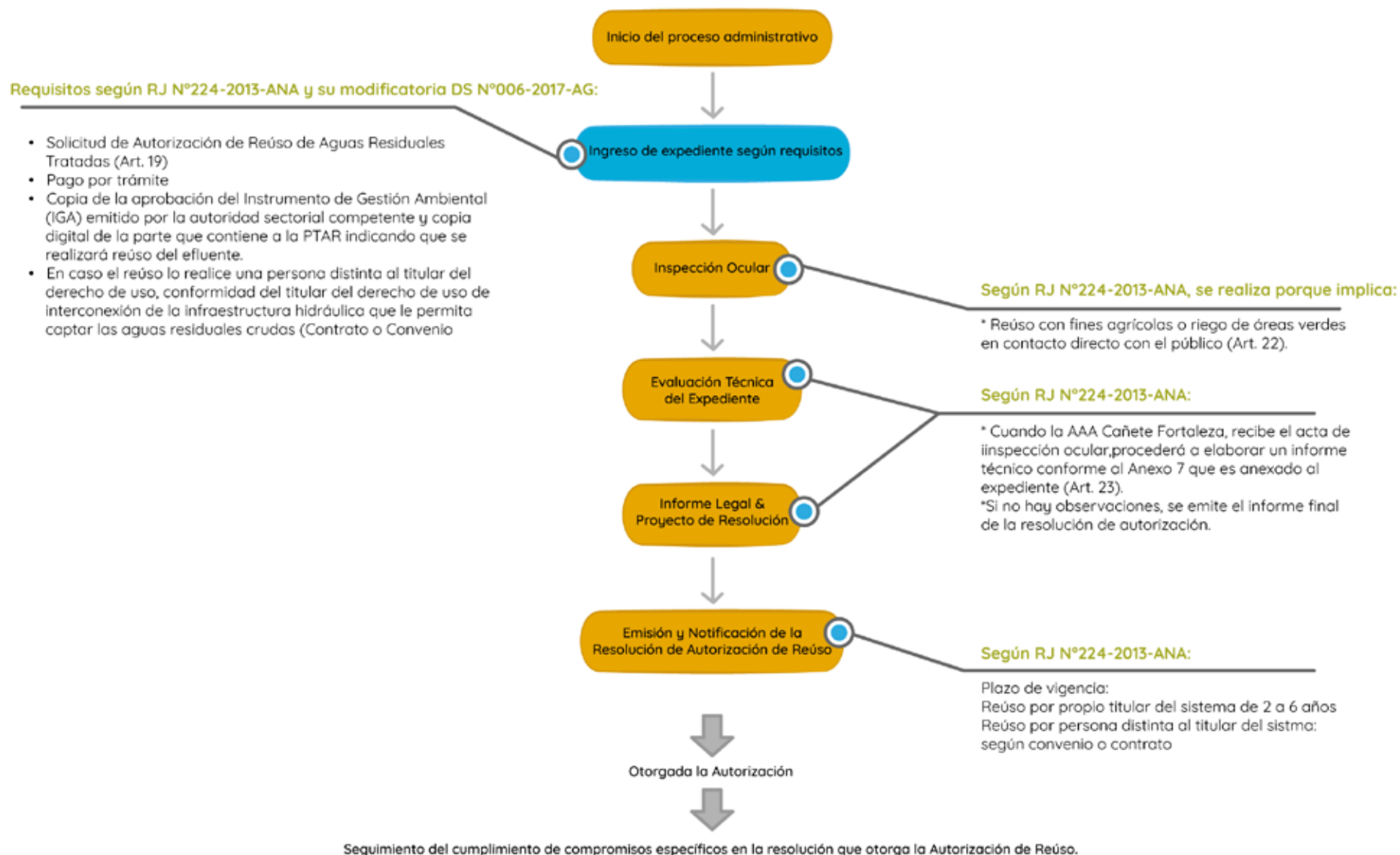
Mediante la **R.J. N° 224-2013-ANA** se promulga el **Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reúso de Aguas Residuales Tratadas**, que aprueba el procedimiento que deben seguir los administrados para gestionar, ante la AAA o la DCERH de la ANA, una autorización de reúso de aguas residuales tratadas.

9.4.1 Tipos de procedimientos y requisitos para la obtención de la autorización de reúso



9.4.2 Flujograma para la obtención de la autorización del reúso de aguas residuales tratadas realizado por la Autoridad Administrativa y Locales del Agua

Pasos para obtener una Autorización de Reúso de ART en el riego de áreas verdes



4

PRINCIPALES IDEAS DE ESTA SECCIÓN

01.

Según el **marco legal** vigente, el reúso de las aguas residuales en el Perú, se enmarca en políticas, lineamientos y normas que promueve varios tipos de reúso de aguas residuales tratadas con el fin de fomentar el uso eficiente del recurso y preservar las fuentes naturales de agua (Art. 11 Ley de Recursos Hídricos).

04.

La autorización de reúso es otorgada por la Autoridad del Agua como ente rector de los recursos hídricos en el Perú y debe ser gestionada por quien aproveche el recurso. La autorización de reúso de aguas residuales tratadas son tramitados en la Autoridad Administrativa de Agua (AAA) según el RJ N°224-2013-ANA y su modificatoria DS N°006-2017-AG. A la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH), mediante la RJ N°684-2010-ANA se le delega esta competencia en aquellas jurisdicciones que aún no cuenten con una AAA.

02.

Respecto a las **normas de evaluación de la calidad**, de los afluentes y efluentes de las PTARs, actualmente se encuentran vigentes:

- Valores Máximos Admisibles (VMA) de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que aplican a las descargas no domésticas a las redes de alcantarillado.
- Para el control de calidad de los efluentes que son usados en el riego de áreas verdes, se toma como referencia las Guías y Directrices de la OMS y de la EPA.
- En caso de efluentes de PTAR que son vertidos a cuerpos de agua natural, se toma como referencia los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los estándares de calidad de agua (ECA) que son evaluados en el cuerpo de agua natural posterior al vertimiento.

03.

Los requisitos para obtener una autorización de reúso de aguas residuales tratadas que aplican a una PTAR municipal son:

- Solicitud de Autorización de Reúso de Aguas Residuales Tratadas (Art. 19)
- Pago por trámite
- Copia de la aprobación del Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) emitido por la autoridad sectorial competente y copia digital de la parte que contiene a la PTAR indicando que se realizará reúso del efluente.
- En caso el reúso lo realice una persona distinta al titular del derecho de uso, conformidad del titular del derecho de uso de interconexión de la infraestructura hidráulica que le permita captar las aguas residuales crudas (Contrato o Convenio).

SECCIÓN V

Evaluación y plan de implementación de un proyecto
de planta de tratamiento de aguas residuales

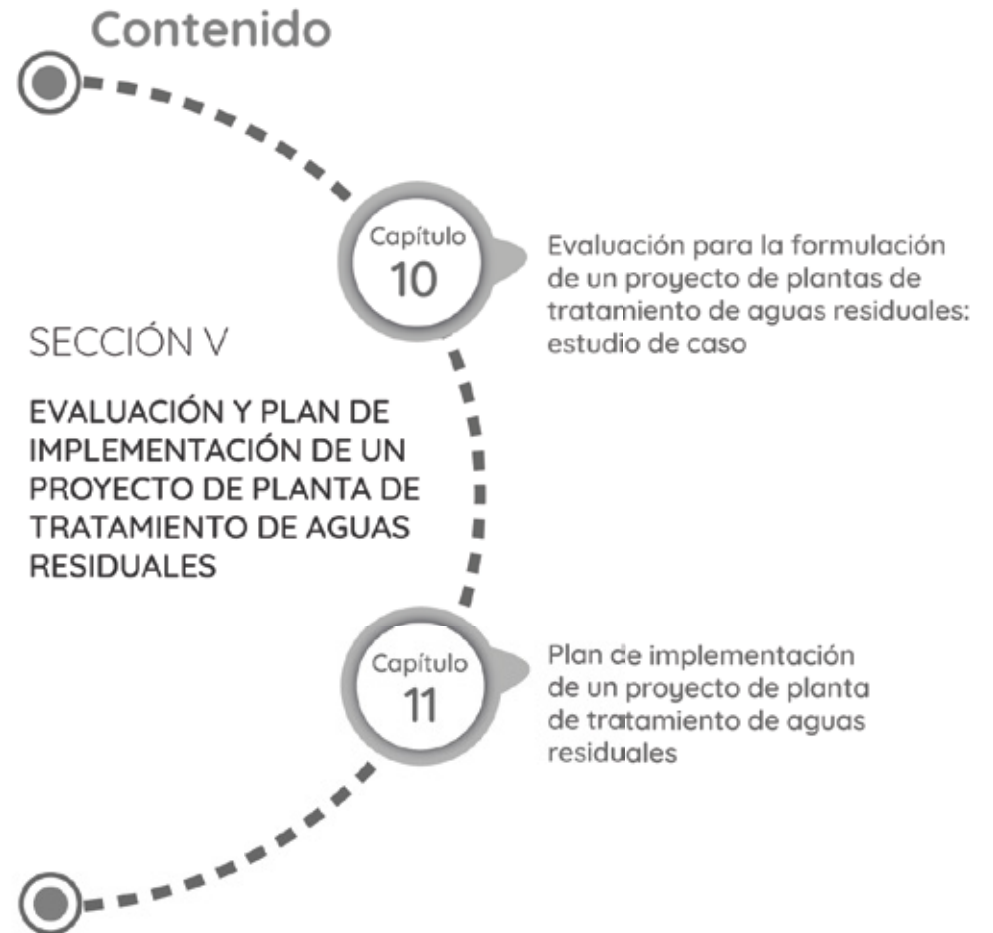


Preguntas clave:

- ¿Sabes cómo determinar si es aplicable el mecanismo de APP para la implementación de tu PTAR municipal?, veamos un ejemplo.
- ¿En la práctica, sabes que etapas y actividades comprende el Plan de Implementación de un proyecto de PTAR implementada mediante APP?

Al finalizar la sección,

Identificarás los pasos a seguir para analizar la viabilidad de la decisión de implementar un proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales y conocerás la estructura que debe tener el plan de implementación del mismo.



CAPÍTULO 10: EVALUACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: ESTUDIO DE CASO

En éste capítulo se presenta un ejemplo de evaluación de implementación de un proyecto que permita el reúso de las aguas residuales en el riego de áreas verdes en tu distrito. Cada paso será explicado a partir de un escenario hipotético para el Distrito de Comas, empleando la información secundaria disponible. Para un caso real, deberá emplearse información primaria generada por cada municipio.

Figura 27. Mapa 1 del Distrito de Comas



Fuente: Google Maps

Paso 1. Sustentar la necesidad del proyecto

Implica efectuar un breve diagnóstico de la situación actual y brecha de áreas verdes en el distrito, las fuentes de agua actuales y potenciales para el riego de áreas verdes y los costos asociados, a fin de sustentar claramente la necesidad de recurrir al reúso de aguas residuales tratadas como la mejor alternativa para el riego de áreas verdes municipales.



Foto 11. Parque Guillen en Collique-Comas cuyas áreas verdes se riegan con aguas residuales tratadas. Foto: Diario Comas (setiembre 2017)

²⁵ En el 2014, solo estaba habilitada el 84% de la totalidad de áreas verdes útiles. Esta última se obtiene de restar el área ocupada por infraestructura de las áreas catastradas como Zona de Recreación Pública (ZRP).

Ejemplo del Paso 1 para el distrito de Comas

<p>El distrito de Comas, en el año 2014, tenía 175.36 ha de área verde útil que, de ser habilitada al 100% para áreas verdes municipales, representaría una demanda de agua (usando los sistemas de riego existentes) de 153.9 L/s, equivalente a 13,297 m³/día.</p> <p>Sin embargo, si la totalidad de los sistemas de riego fueran tecnificados, la demanda alcanzaría solo 107.5 L/s, equivalente a 9 288 m³/día, es decir, 30% menos de agua (ver Tabla 1, Capítulo 2).</p>	<p>En el año 2014 el consumo del recurso para riego:</p> <p>153.9 L/s (13,297 m³/día)</p> <p>Cambiando al 100% riego tecnificado:</p> <p>Reducción de 30%:</p> <p>107.5 L/s (9 288 m³/día)</p>
<p>Para el año 2035, se proyecta que las áreas verdes públicas se incrementarían levemente en Comas, en aproximadamente 2%, alcanzando 178.86 ha, lo que representa una demanda de agua (usando solo sistemas de riego tecnificado) de 109.10 L/s, equivalente a 9,426 m³/día (ver Tabla 2, Capítulo 2).</p>	<p>Para el año 2035:</p> <p>Incremento del 2% de las áreas verdes públicas, llega a 178.86 ha</p> <p>Demanda de agua (usando solo sistemas de riego tecnificado)= 109.10 L/s (9,426 m³/día).</p>
<p>La densidad de áreas verdes en Comas, al 2014, fue de aproximadamente de 3.6 m²/hab lo cual es significativamente inferior a los 9.2 m²/hab recomendado por la OMS</p>	<p>Superficie de área verde por habitante:</p> <p>3.6 m²/hab <<< 9.2 m²/hab (OMS)</p>
<p>Respecto a las fuentes de agua disponibles, si bien el distrito de Comas colinda con el Río Chillón, las aguas de este río constituyen una fuente destinada principalmente a fines agrícolas y poblacionales. Durante el periodo de estiaje (7 meses del año), el río no trae agua o trae muy poca, siendo la mayor parte consumida por la zona agrícola de la cuenca media y alta del río Chillón; luego, en la cuenca baja, antes del distrito de Comas, el agua es infiltrada en el acuífero mediante el uso de pantallas que atraviesan el río en un tramo de 5.5 km, a fin de que SEDAPAL pueda extraerla mediante una batería de pozos y, finalmente, cuando el cauce llega a la altura del distrito de Comas, es aprovechada por 700 ha de cultivo aledañas al río que aún existen en el distrito.</p>	<p>Fuentes disponibles del recurso hídrico para riego de AV:</p> <p>Sólo el río Chillón, cuyo cauce en la zona de Comas, es usado para regar 700ha de cultivo aledañas al río.</p>
<p>Un ejemplo de las limitaciones de acceso a fuentes de agua superficial lo constituye el Parque Zonal Sinchi Roca administrado por SERPAR de la MML, ubicado en el centro de Comas, el cual fue remodelado en el 2016 incorporando la construcción de una PTAR para el reúso de aguas residuales con capacidad para regar sus 60 ha.</p>	<p>El déficit de la disponibilidad del recurso para el riego de AV de Comas motivó la construcción de la PTAR para reúso, cuyo efluente riega 60ha.</p>

<p>Se tiene conocimiento que, durante el mes de Julio de 2015 (invierno), el consumo de agua potable del municipio de Comas para riego de áreas verdes fue de 40,551 m³/mes, lo que representó un costo de 195,695 Soles/mes (sin incluir IGV), a una tarifa media de 4.83 Soles/m³. Dicha tarifa, comparada con algunas experiencias en el mercado de reúso de aguas residuales en riego de áreas verdes (2.29 Soles/m³), es 110% más cara.</p> <p>Si consideramos que el consumo de agua se puede incrementar al doble entre mediados de primavera y otoño (6 meses), se estima que el consumo anual del 2015 haya sido de 730,000 m³/año, con un costo de más de 3.5 millones de soles (sin incluir IGV). Si se hubiesen reusado las aguas residuales en el riego de áreas verdes del distrito, se podría haber obtenido un ahorro anual de 1.85 millones de soles (sin incluir IGV), es decir, un ahorro del 53% anual.</p>	<p>Consumo y costos por riego con agua potable:</p> <p>Julio 2015 (invierno)</p> <p>40,551 m³/mes=</p> <p>S/. 195,695 /mes (sin incluir IGV), a una tarifa media de 4.83 Soles/m³</p> <p>Consumo anual promedio:</p> <p>730,000 m³/año = más de</p> <p>S/. 3.5' millones de soles (sin incluir IGV).</p> <p>Con el riego con aguas residuales tratadas:</p> <p>Ahorro anual:</p> <p>S/. 1.85' millones de soles (sin incluir IGV) (ahorro del 53%).</p>
<p>Por otro lado, no existe, en el distrito de Comas, plantas de tratamiento de aguas residuales administradas por SEDAPAL que, vía convenio o contrato de suministro, puedan proveer de aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes. La más cercana se encuentra en el distrito de Puente Piedra cuya distancia y cota topográfica haría muy difícil el aprovisionamiento y a un muy alto costo.</p>	<p>No hay PTARs del SEDAPAL, ni otras que puedan abastecer de agua residual tratada con ubicación apropiada a un costo razonable.</p>

Del análisis anterior, se puede concluir que:

- Existe la necesidad de mantener y ampliar las áreas verdes públicas del distrito.
- Existen limitaciones de acceso a fuentes de agua superficial (río Chillón) y a aguas residuales tratadas por PTARs bajo administración de SEDAPAL, lo que implica una alta dependencia de consumo de agua potable para regar áreas verdes a un elevado costo.
- Es prioritario para el distrito de Comas la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales para el riego de áreas verdes municipales, a fin de contar con una fuente sostenible de agua que permita, además, habilitar nuevas áreas verdes.

Paso 2. Determinar la demanda de riego

Implica proyectar las áreas verdes distritales habilitadas al público, para los próximos 20 o 30 años, que serían regadas con aguas residuales tratadas, y determinar la necesidad diaria de agua para la condición más crítica de verano, de acuerdo al sistema de riego elegido.

Para determinar la demanda para riego de áreas verdes se deberá emplear información primaria de las áreas a regar y aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda (m}^3/\text{día)} = \text{Área de Riego (m}^2) \times \frac{\text{Dotación (L/m}^2/\text{día)}}{1000}$$

Ejemplo del Paso 2 para el distrito de Comas:

<p>ÁREA DE RIEGO. - Se estima que el área verde pública habilitada de Comas que usa agua potable es de 120 ha, descontando el área correspondiente al Parque Zonal Sinchi Roca administrado por SERPAR que ya cuenta con reúso de aguas residuales.</p>	<p>Según la fórmula presentada, la demanda de riego sería de:</p> $\text{Demanda} = 1\,200\,000\text{ m}^2 \times \frac{5.27\text{ L}}{1000\text{ m}^2}/\text{día} = 6\,324\text{ m}^3/\text{día}$
<p>DOTACIÓN DE AGUA. - Se estima que, actualmente, Comas usa una dotación de poco más de 1 L/m²/día de agua potable. Esta es una dotación muy baja comparada con la usada en el PEAIE 2035: 5.27 L/m²/día, y con la usada en el Contrato de Concesión de la PTAR María Reiche de Miraflores para riego tecnificado: 4.64 L/m²/día, por lo que deberá ser revisado por el especialista en la materia. En el siguiente ejemplo, emplearemos 5.27 L/m²/día.</p>	

Paso 3. Determinar las posibles ubicaciones de los sistemas de tratamiento

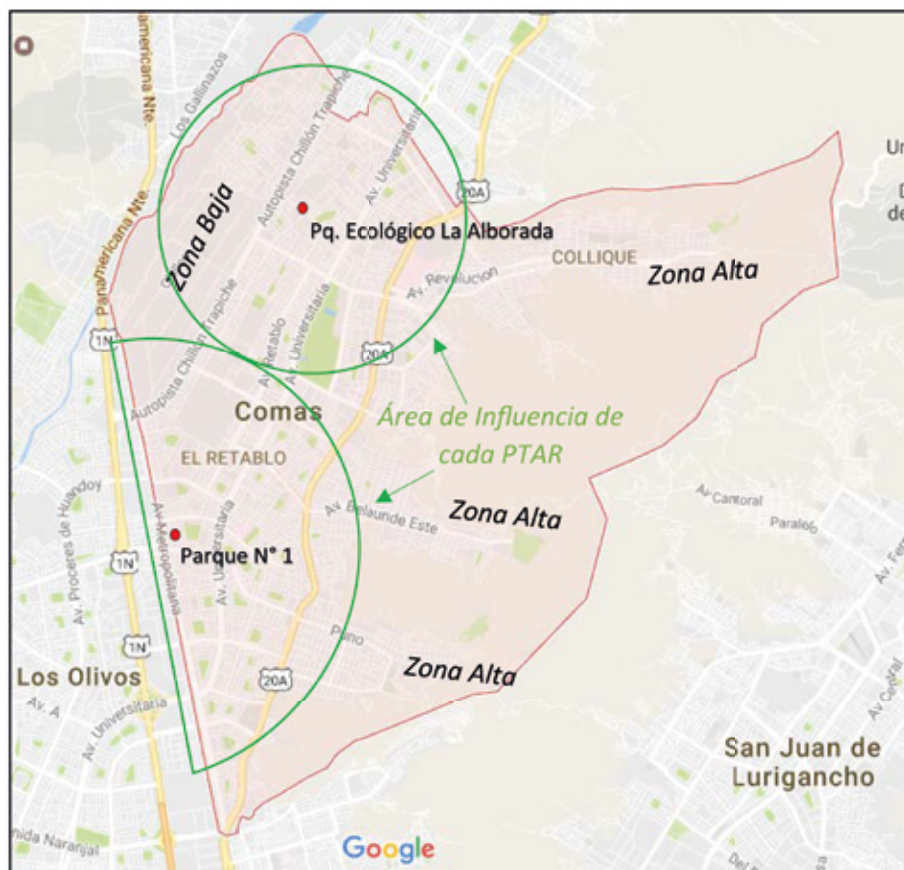
Implica identificar las áreas públicas bajo administración municipal (parques) que se encuentren disponibles, considerando los siguientes criterios de ubicación:

- i) Tamaño mediano
- ii) Equidistante a otros parques
- iii) Cerca de vías principales
- iv) En la mayor cota topográfica.

Ejemplo del Paso 3 para el distrito de Comas:

<p>De acuerdo al plano del distrito, una primera aproximación resulta en la necesidad total de 2 PTARs ubicadas en el Parque N°1 (2.64 ha) y en el Parque Ecológico La Alborada (1.80 ha), en la zona baja de Comas (ver Figura 28).</p> <p>Ello se debe a que, en la zona alta, una vez pasada la avenida Túpac Amaru, casi no se encuentran áreas verdes públicas y los únicos espacios libres en dicha zona son las laderas de los cerros donde no hay acceso a desagües que puedan ser tratados y reusados. En ese sentido, dichas zonas solo podrían ser regadas con camiones cisternas que lleven las aguas residuales tratadas de las PTAR o empleando costosos sistemas de bombeo.</p>	<p>02 PTARs en zona baja:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Parque N°1 (2.64 ha) y 2. Parque Ecológico La Alborada (1.80 ha). <p>En la zona alta: riego con camiones cisternas que lleven las aguas residuales tratadas de las PTARs o empleando costosos sistemas de bombeo.</p>
--	---

Figura 28. Mapa 2 del Distrito de Comas



Fuente: Google Maps

Paso 4. Estimar el área necesaria para la PTAR

Implica seleccionar el tipo de tratamiento (extensivo, mixto o intensivo) y el proceso de tratamiento que más se adapte a las condiciones de la zona y estimar el área necesaria para su implantación, a fin de distribuir la capacidad de tratamiento en las ubicaciones identificadas.

Ejemplo del Paso 4 para el distrito de Comas:

<p>Dadas las limitaciones de área en el distrito de Comas, se deberían utilizar sistemas de tratamiento intensivos, que ocupen la menor área posible y que permitan la estabilización de lodos en el proceso mismo de tratamiento de aguas residuales, a fin de tener la posibilidad de reaprovechamiento de biselados.</p>	<p>Por limitaciones de área, sería más apropiado el tratamiento intensivo con estabilización de lodos.</p>
<p>Para determinar el área total necesaria para implementar la(s) PTAR(s), se aplica una fórmula de conversión que permite emplear la ratio de $m^2/habitante$ de la Figura 16, convirtiéndolo en m^2/m^3 de capacidad instalada diaria.</p>	<p>Área total requerida para una PTARs con tratamiento intensivo: $1 m^2/habitante = 5 m^2/m^3$ de capacidad instalada diaria</p>
<p>Sin embargo, tratándose de PTARs de tratamiento intensivo con necesidades de área $<1 m^2/habitante$, se pueden alcanzar ratios de hasta $0.5 m^2/m^3$ de capacidad instalada diaria.</p> <p>Un ejemplo es la PTAR María Reiche con $750m^3/día$, ocupando solo $400 m^2$ de área. Para el presente ejemplo, se emplea una ratio de $0.8 m^2/m^3$ de capacidad instalada diaria.</p>	<p>Se estima el área máxima para tecnologías tipo MBBR, MBR, SBR o similar de aproximadamente $5000 m^2$, distribuidos en 50% para cada PTAR:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. PTAR Parque N°1 ocuparía $2 500 m^2$ de sus $2,64 ha$ y 2. PTAR Parque Ecológico ocuparía $2 500 m^2$ de sus $1,80 ha$. <p>La mayor parte de los componentes de estas PTAR deben estar soterrados, a fin de generar el menor impacto paisajístico posible.</p>

Paso 5. Estimar el Costo de Inversión (CAPEX) y Operación y Mantenimiento (OPEX)

Implica la estimación de los costos de inversión, operación y mantenimiento para la alternativa técnica seleccionada.

Ejemplo del Paso 5 para el distrito de Comas:

<p>Los Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento se obtienen del estudio de pre-inversión en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe). Sin embargo, para fines del presente ejercicio emplearemos los costos directos a nivel paramétrico indicados en la Guía (tabla 12).</p> <p>Se estima que el costo de la Pre-Inversión del proyecto, en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones se encuentra en el orden de 0.57' Millones de Soles.</p> <p>Por otro lado, se estima que el Costo Total de la Inversión, incluyendo la formulación del Expediente Técnico y todos los permisos, incluyendo el EIA, así como el costo de supervisión del proyecto, se encuentra en el orden de 38.2' Millones de Soles, mientras que el costo de Operación y Mantenimiento se encuentran en el orden de 1.8' Millones de Soles.</p> <p>Bajo el esquema de Obra Pública, considerando que la capacidad de inversión total del Municipio de Comas se estima en menos de 10' Millones de Soles al año, se presume que el Costo Total de la Inversión tendría que ser subsidiado por el Gobierno Regional o Nacional, salvo que el municipio pueda gestionar un financiamiento vía endeudamiento, lo cual requerirá la opinión previa del MEF.</p> <p>Bajo el esquema de obra pública, el riesgo de diseño, construcción, operación y mantenimiento se mantendría en manos del municipio.</p>	<p>Costos estimados del proyecto (ver Tabla 13):</p> <p>Costo de preinversión= S/. 0.57 Millones</p> <p>Costo total inversión= S/. 38.2 Millones</p> <p>Costo de O&M= S/. 1.8 Millones anuales</p> <p>Bajo el esquema de Obra Pública:</p> <p>La capacidad de inversión del Municipio de Comas se estima en menos de S/. 10 Millones anuales. Lo demás requeriría subsidio del Gobierno Regional o Nacional o endeudamiento con aprobación del MEF.</p>
--	---

Tabla 13. Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento del Proyecto

CONCEPTO	MONTO (S/)	MONTO (USD)	COMENTARIO
Estudio de Pre-Inversión	572 985	176 303	1,5% del CAPEX (Nivel de Factibilidad)
(1) Costo de Pre-Inversión	572 985	176 303	(Sin IGV)
Costo de Terreno	-	-	Terreno público
Costo de PTAR	27 129 960	8 347 680	Ver Tabla N° 11
Costo del Sistema de Riego	2 712 996	834 768	Asumimos 10%
Costo Directo (CD)	29 842 956	9 182 448	
Gastos Generales	2 984 296	918 245	10% del CD
Utilidad	2 984 296	918 245	10% del CD
Costo de la Inversión (CAPEX)	35 811 547	11 018 938	
Costo de Expediente Técnico y Permisos	1 492 148	459 122	5% del CD
Costo Supervisión	895 289	275 473	3% del CD
(2) Costo Total de la Inversión	38 198 984	11 753 533	(Sin IGV)
Costo de Operación y Mantenimiento (OPEX)	1 492 148	459 122	5% del CD por año, 50% de costo fijo, 50% costo variable,
(3) Costo O&M	1 492 148	459 122	(Sin IGV)

Paso 6. Estimar la Retribución al Concesionario Privado en caso de APP

Este paso sirve para contar con información económica que permita evaluar, posteriormente, las alternativas para ejecutar el proyecto. Implica la estimación de la retribución al concesionario privado para que éste cubra todos los costos del Proyecto.

Ejemplo del Paso 6 para el distrito de Comas:

<p>Para fines del presente ejercicio, asumiremos que la modalidad de pago será "Pago por Disponibilidad" de la infraestructura, es decir, que la retribución tanto a la Inversión como a la Operación y Mantenimiento se realizará a través de una tarifa por el servicio de riego de áreas verdes con aguas residuales tratada (S/m³).</p> <p>Bajo este esquema, se realizaría una liquidación mensual por el volumen de aguas residuales que hayan sido utilizadas para el riego. La demanda deberá estar garantizada por el Municipio (ingreso mínimo garantizado - IMG a fin de garantizar el pago del servicio de la deuda a los acreedores permitidos) y sólo se afectará el pago por el servicio cuando el concesionario incumpla con los niveles de servicio establecidos.</p>	<p>Modalidad de pago : "Pago por Disponibilidad" de la infraestructura con tarifa S/. por m³</p> <p>Al Costo Total de la Inversión del estudio de factibilidad (ver Tabla 14), se le debe añadir: costos del Seguros y Garantías que pedirá la entidad financiera, los gastos de estructuración y promoción de la APP.</p> <p>A los Costos de O&M se le debe añadir Gastos Generales y Utilidad, propios de una Empresa Privada, que no forman parte de los costos municipales.</p>
--	---

Tabla 14. Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento de la APP

CONCEPTO	MONTO (S/)	MONTO (USD)	COMENTARIO
Costo total de la Inversión	38 198 984	11 753 533	(Sin IGV)
Costo de Seguros y Garantías	447 644	137 737	1,5% del CD
Gastos de Estructuración y Promoción	149 215	45 912	0,5% del CD
Costo Total de Inversión Referencial como APP	38 795 843	11 937 182	(Sin IGV)
Costo de Operación y Mantenimiento (OPEX)	1 492 148	459 122	5% del CD por año, 50% de costo fijo, 50% costo variable,
Gastos Generales	149 215	45 912	10% del Costo de O&M
Utilidad	149 215	45 912	10% del Costo de O&M
Costo Total de O&M	1 790 577	550 947	(Sin IGV)

Con los datos de la Tabla 14, el especialista procederá a realizar la Estructuración Económico- Financiera a fin de obtener la Tarifa que permita obtener la rentabilidad esperada por el inversionista.

Para fines de nuestro ejercicio se asumirán los siguientes datos de partida:

- El periodo de la Concesión sería de 25 años.
- El Expediente Técnico y la Obra tiene una duración de 3 años y 22 años de operación.
- Ratio Capital/Deuda será de 10% y 90%, respectivamente.
- El capital es aportado en el año 0, para conformar la Sociedad de Propósito Especial (SPV) e iniciar la elaboración del Expediente Técnico.
- La deuda es desembolsada en el año 2 y 3 a razón de 50% cada año, previo cierre financiero.
- Las condiciones de la deuda son 15 años de repago a una tasa de 9,31%.
- El volumen de aguas residuales tratadas par riego será de 2 308 260 m³/año.

Con la información suministrada, se construye un modelo económico-financiero, que incluye factores como el pago de impuestos y la recuperación anticipada del IGV, entre otros, pero que, para fines del ejercicio, ha sido simplificado, como se muestra en la Tabla 15, obteniéndose una Tasa Interna de Retorno para el accionista **(TIR Accionista) de 13% a una tarifa por servicio de S/ 2.91/m³**. El monto que el Municipio de Comas tendría que pagar al concesionario para la totalidad del volumen de agua sería del orden de 6,72' Millones de soles anuales, sin incluir IGV. Esta tarifa, como ya hemos visto, es mucho menor a la que se pagaría a SEDAPAL por agua potable de S/ 4.83/m³.

Tabla 15. Flujo de Caja del Inversionista (simplificado)

AÑOS	SERVICIO DE LA DEUDA				FLUJO DE CAJA SIMPLIFICADO			
	DEUDA	CAPITAL	CUOTA	SALDO	INTERÉS	COSTOS	INGRESOS	FLUJO
0		-3 879 584				-3 879 584		-3 879 584
1								-
2	-17 458 129			-17 458 129	-	-		-
3	-17 458 129			-34 916 258	-1 625 352	-		-
4				-35 193 206	-3 250 704	-6 389 685	6 716 844	327 159
5		4 599 107		-33 870 586	-3 276 487	-6 389 685	6 716 844	327 159
6		4 599 107		-32 424 830	-3 153 352	-6 389 685	6 716 844	327 159
7		4 599 107		-30 844 475	-3 018 752	-6 389 685	6 716 844	327 159
8		4 599 107		-29 116 988	-2 871 621	-6 389 685	6 716 844	327 159
9		4 599 107		-27 228 672	-2 710 792	-6 389 685	6 716 844	327 159
10		4 599 107		-25 164 554	-2 534 989	-6 389 685	6 716 844	327 159
11		4 599 107		-22 908 267	-2 342 820	-6 389 685	6 716 844	327 159
12		4 599 107		-20 441 919	-2 132 760	-6 389 685	6 716 844	327 159
13		4 599 107		-17 745 954	-1 903 143	-6 389 685	6 716 844	327 159
14		4 599 107		-14 798 995	-1 652 148	-6 389 685	6 716 844	327 159
15		4 599 107		-11 577 675	-1 377 786	-6 389 685	6 716 844	327 159
16		4 599 107		-8 056 449	-1 077 881	-6 389 685	6 716 844	327 159
17		4 599 107		-4 207 397	-750 055	-6 389 685	6 716 844	327 159
18		4 599 107		-	-391 709	-6 389 685	6 716 844	327 159
19					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
20					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
21					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
22					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
23					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
24					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266
25					-	-1 790 577	6 716 844	4 926 266

Paso 7. Elegir el mecanismo para la inversión en el Proyecto e implementación

Implica evaluar las alternativas para la realización del proyecto (APP u Obra Pública), considerando los criterios de elegibilidad del proyecto como APP:

- i) La transferencia de riesgos al sector privado,
- ii) La existencia de niveles de servicio y requisitos mínimos para el tipo de proyecto,
- iii) La experiencia de sobrecostos en la ejecución de obra pública,
- iv) La capacidad del municipio para operar y mantener este tipo de infraestructura,
- v) La capacidad presupuestal del municipio para ejecutar el proyecto como obra pública,
- vi) La pluralidad de empresas privadas interesadas y capaces de ejecutar, operar y mantener el proyecto bajo la modalidad de concesión,
- vii) La experiencia municipal en proyectos de APP,



Foto 12. Planta de tratamiento Trebol de Javier Prado y Vía Expresa. Foto: Juan Pablo Méndez

Ejemplo del Paso 7 para el distrito de Comas:

Dado que el monto de la inversión (CAPEX) es mayor a 7 000 UIT (S/. 28,3 Millones), pero menor a 15 000 UIT (S/. 60,75 Millones), el proyecto podría realizarse por dos vías posibles:

- i) Obra Pública ó
- ii) APP por Iniciativa Estatal Cofinanciada.

La metodología para la aplicación de Criterios de Elegibilidad de Proyectos bajo la modalidad de APP, publicada por el MEF, basada en puntajes y ponderaciones para cada uno de los criterios, deberá ser aplicada de acuerdo a los lineamientos aprobados por el MEF.

Los criterios que emplearemos para ello son los siguientes:

- i) Se transferiría al privado los riesgos de diseño, financiamiento, construcción, operación y mantenimiento durante todo el periodo de la concesión (25 años).
- ii) Existen niveles de servicio que pueden ser exigidos al Concesionario: calidad de agua para reúso en riego de áreas verdes (aptitud físico química y microbiológica). Así como requisitos técnicos mínimos como la adecuación de la solución técnica a los terrenos que pone a disposición el Municipio, el soterramiento de solución técnica, el control de olores, etc.
- iii) Hay suficiente experiencia de que, en las obras públicas en general, se generan sobrecostos de obra respecto al presupuesto del expediente técnico, debido a deficiencias en el diseño o imprevistos de obra.
- iv) El core business del municipio no es dedicarse a operar y mantener PTARs, por lo que no tiene experiencia en el rubro. En caso de contar con una PTAR, suele recurrir a la tercerización de la O&M con operadores privados.
- v) El municipio de Comas cuenta con un presupuesto estimado de 80 millones de soles, de los cuales 90% es gasto corriente y solo 10% se destina a inversión. En tal sentido, es evidente que para ejecutar el proyecto como obra pública deberá recurrir a otras fuentes de financiamiento, como por ejemplo transferencia del gobierno central (MVCS).
- vi) Se presume que existen numerosas empresas privadas nacionales e internacionales que podrían estar interesadas en el proyecto bajo la modalidad de Concesión, cuya participación podrá lograrse con una fuerte promoción del proyecto como APP en la etapa de concurso.
- vii) Se presume que la Municipalidad de Comas tiene muy poca experiencia en APP, por lo que podría encargar a PROINVERSION la estructuración y el proceso de promoción del Proyecto.
- viii) Los ingresos por el concepto de Parques y Jardines del Municipio de Comas, en el 2016, fueron de casi S/. 3,0 Millones, lo cual quiere decir que sólo con dicho concepto no se podrían cubrir los S/. 6,72 Millones anuales, sin incluir IGV. Ello quiere decir que deberá recurrir a otras fuentes de financiamiento, como por ejemplo transferencia del gobierno central (MVCS).

El resultado de la aplicación de los criterios señalados para el presente caso se muestra continuación en la Tabla 16:

Tabla 16. Ponderación de Criterios de Elegibilidad del Proyecto como APP

CRITERIOS	PUNTAJE PONDERADO
Criterio Especifico 1: Nivel de transferencia de riesgos	3,0
Criterio Especifico 2: Capacidad de medición de la disponibilidad y calidad del servicio	2,0
Criterio Especifico 3: Ventajas y limitaciones de la obra pública tradicional: Pregunta 1	4,0
Criterio Especifico 3: Ventajas y limitaciones de la obra pública tradicional: Pregunta 2	4,0
Criterio Especifico 4: Tamaño del proyecto que justifique los costos del proceso de APP	1,3
Criterio Especifico 5: Competencia por el mercado	1,3
Criterio Especifico 6: Fortaleza institucional como factor de éxito del proyecto	0,5
PUNTAJE PONDERADO TOTAL	16,2
Criterio Especifico 7: Financiamiento por usuarios	1
PUNTAJE FINAL	17,2

Fuente:MEF

Con el puntaje obtenido de 17,2, mayor al mínimo de 12, se concluye que, frente al régimen general de contratación pública y con la información disponible, el proyecto de tratamiento de aguas residuales para el riego de áreas verdes municipales del Distrito de Comas está en condiciones de ser implementado mediante la modalidad de APP para su desarrollo.

En tal sentido, para el presente caso hipotético, se optaría **por conducir el proyecto vía APP como Iniciativa Estatal Cofinanciada.**

Sin perjuicio de ello, aunque se hubiese elegido conducir el proyecto por obra pública, en cualquiera de los dos casos, el proyecto deberá pasar por Invierte.pe y obtener su viabilidad, previa formulación, utilizando una Ficha Técnica Estándar para proyectos de complejidad media o baja (**consultar en <https://www.mef.gob.pe/es/fichas-tecnicas?id=5436>**).

CAPÍTULO 11: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una vez terminada la evaluación para la formulación de un proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales con fines de reúso en riego de áreas verdes municipales y tomada la decisión de ejecutar el mismo, se debe diseñar un Plan de implementación del Proyecto que contenga como mínimo las siguientes actividades, según se trate de Obra Pública, Iniciativa Estatal Cofinanciada o Iniciativa Privada Cofinanciada.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

OBJETIVO: Contar con un listado de actividades a realizar para concretar un “Proyecto de tratamiento de aguas residuales para el reúso de áreas verdes en el ámbito municipal” (en adelante el Proyecto).

DIRIGIDO A: Titular del Gobierno Local, Jefes de Proyecto o quien haga sus veces y miembros del Comité de Inversiones, de ser el caso.



Foto 13. Cámara de Rejas en buzón de captación en PTAR ubicada en San Miguel.
Foto: Juan Pablo Méndez Vega.

ETAPA	OBRA PÚBLICA	ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA	
		INICIATIVA ESTATAL (IEC)	INICIATIVA PRIVADA (IPC)
Organización	<ol style="list-style-type: none"> 1. Designar a la Oficina de Programación Multianual de Inversiones (OPMI), Unidad Formuladora (UF) y Unidad Ejecutora de Inversiones (UEI). <i>Resp. Titular del GL</i> 2. Constituir el Comité de Inversiones del Gobierno Local. <i>Resp. Titular del GL</i> 3. Identificar al área usuaria que identificará la necesidad. <i>Resp. Servicios a la Ciudad o Parques y Jardines</i> 		
	<ol style="list-style-type: none"> 4. Identificar las áreas actuales y potenciales de riego del ámbito Municipal que no puedan ser abastecidas por fuente superficial (canales de regadío) 5. Determinar la demanda de agua optimizada de dichas áreas, empleando riego tecnificado. 6. Identificar las fuentes de agua disponibles para cada área de riego: agua potable, camión cisterna, compra de aguas residuales tratadas a SEDAPAL o tratamiento de aguas residuales por una PTAR Municipal) 7. Determinar el costo de cada alternativa a nivel paramétrico 8. Evaluar económicamente y seleccionar la mejor alternativa de fuente <p><u>En caso resulte favorable el uso de aguas residuales tratadas por una PTAR Municipal:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Analizar las alternativas para conducir el Proyecto: vía Obra Pública o vía APP Cofinanciada (Iniciativa Estatal o Privada) 10. Seleccionar la mejor alternativa para conducir el Proyecto, conjuntamente con la OPMI. <i>Resp. Área Usuaría.</i> 		
Planeamiento y Programación multianual	<ol style="list-style-type: none"> 11. Formular y aprobar el Programa Multianual de Inversiones (PMI), que incorpora el Proyecto. <i>Resp. OPMI</i> 12. Presentación del PMI a la DGPMI del MEF según calendario vigente. <i>Resp. OPMI</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 11. Formular el Informe Multianual de Inversiones en APP, que incorpore el proyecto. <i>Resp. OPMI</i> 12. Aprobar el Informe Multianual del Inversiones en APP. <i>Resp. Comité de Inversiones.</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 11. Determinar las necesidades de intervención y disponibilidad presupuestal máxima a comprometer en proyectos vía IPC, con opinión favorable del MEF y publicado en el portal de PROINVERSIÓN (según calendario vigente). <i>Resp. OPMI.</i> 12. Presentar la Iniciativa Privada Cofinanciada (IPC) a PROINVERSION (Dentro de los primeros 90 días calendario de cada año). <i>Resp. Proponente de la IPC</i> 13. Admitir a trámite. <i>Resp. PROINVERSION</i> 14. Emitir la Opinión de Relevancia. <i>Resp. GL</i>

ETAPA	OBRA PÚBLICA	ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA	
		INICIATIVA ESTATAL (IEC)	INICIATIVA PRIVADA (IPC)
Formulación y Evaluación	13. Identificar los Terrenos donde se construirán las PTAR. <i>UF del Gobierno Local</i> 14. Formular el Proyecto en el marco de Inverte.pe y obtener la viabilidad . <i>Resp. UF del Gobierno Local</i>	15. Elaborar el Informe de Evaluación del Proyecto. <i>Resp. Comité de Inversiones, con opinión favorable del MEF.</i>	15. Identificar los Terrenos donde se construirán las PTAR. Proponente 16. Formular el proyecto en el marco de invierte.pe. <i>Resp. Proponente</i> 17. Otorgar la viabilidad . <i>Resp. UF del Gobierno Local</i> 18. Elaborar el Informe de Evaluación del Proyecto. <i>Resp. PROINVERSIÓN con opinión favorable del Gobierno Local y del MEF.</i>
	15. Elaborar y aprobar el Expediente Técnico . <i>Resp. G. Proyectos y obras del Gobierno Local</i> 16. Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental y obtener su aprobación. <i>Resp. G. Proyectos y obras del Gobierno Local</i> 17. Obtener el CIRA, iniciar trámite para suscribir convenios y autorización de reúso.* <i>Resp. G. Proyectos y obras del Gobierno Local</i> 18. Elaborar las Bases y Proyecto de Contrato del Concurso Público. <i>Resp. G. Proyectos y obras y Logística del Gobierno Local</i> 19. Realizar el Estudio de Mercado . <i>Resp. G. Logística del Gobierno Local</i> 20. Convocar y adjudicar la ejecución del Expediente Técnico. <i>Resp. G. Logística del Gobierno Local</i> 21. Suscribir el Contrato . <i>Resp. Titular del Gobierno Local.</i> 22. Obtener permiso municipal . <i>Resp. Contratista</i>	Estructuración 16. Aprobar el Informe de Evaluación e incorporar al Proceso de Promoción de la Inversión Privada. <i>Resp.: Comité de Inversiones y Concejo Municipal</i> 17. Formular y aprobar el Plan de Promoción y publicar en portal de PROINVERSIÓN. <i>Resp. Comité de Inversiones y Concejo Municipal. Publicación PROINVERSIÓN</i> 18. Estructurar la APP para la promoción y formular el proyecto de Contrato. <i>Resp. Comité de Inversiones</i>	19. Aprobar el Informe de Evaluación e incorporación al Proceso de Promoción de la Inversión Privada. <i>Resp.: PROINVERSIÓN y Concejo Municipal</i> 20. Formular y aprobar el Plan de Promoción . <i>Resp. PROINVERSIÓN y Concejo Municipal</i> 21. Estructurar la APP para la promoción y formulación del proyecto de Contrato. <i>Resp. PROINVERSIÓN</i>
Ejecución		Transacción 19. Elaborar las bases, proyecto de Contrato y Convocatoria a Concurso . <i>Resp. Comité de Inversiones</i> 20. Modificar las Bases y Contrato , a partir de las consultas y sugerencias de Pastores. <i>Resp. Comité de Inversiones y Concejo Municipal (solo modificaciones sustanciales a bases)</i> 21. Formular y aprobar la versión final del Contrato de APP. <i>Resp. Comité de Inversiones y Concejo Municipal con Opinión favorable del MEF e informe previo de Contraloría.</i>	22. Publicar la Declaratoria de Interés . <i>Resp. PROINVERSIÓN y Concejo Municipal, con Opinión Favorable del Gobierno Local, MEF e Informe Previo de Contraloría</i> 23. Promover el proyecto a Terceros Interesados (150 días después de publicada la declaratoria de interés). <i>Resp. PROINVERSIÓN</i> En caso de ausencia de Terceros Interesados: 24. Adjudicar directamente el contrato de APP. <i>Resp. PROINVERSIÓN y Concejo Municipal</i> 25. Formular y aprobar la versión final del Contrato de APP . <i>Resp. PROINVERSIÓN y</i>

*CIRA: Certificado de inexistencia de restos arqueológicos, los convenios son aquellos que permiten el acceso a la infraestructura de SEDAPAL para captar el agua residual cruda y las autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas, para el riego de áreas verdes, son tramitadas ante la Autoridad Nacional del Agua.

ETAPA	OBRA PÚBLICA	ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA	
		INICIATIVA ESTATAL (IEC)	INICIATIVA PRIVADA (IPC)
	<p>23. Ejecutar la Obra. Resp. Contratista</p> <p>24. Contratar al Supervisor de la Ejecución de la Obra. Resp. G. <i>Proyectos y obras</i></p> <p>25. Liquidar la Obra. Resp. G. <i>Proyectos y obras</i></p>	<p>22. Evaluar las propuestas y otorgar la buena Pro. Resp. <i>Comité Especial del GL</i></p> <p>23. Firmar el Contrato. Resp. <i>Titular del Gobierno Local</i></p>	<p><i>Concejo Municipal con Opinión Favorable del Gobierno Local, Concejo Municipal, MEF e Informe Previo de Contraloría</i></p> <p><u>En caso de presentarse Terceros Interesados:</u></p> <p>26. Elaborar las bases, proyecto de Contrato y Convocar a Concurso. Resp. <i>PROINVERSIÓN</i></p> <p>27. Modificar las Bases y Contrato, a partir de las consultas y sugerencias de Pastores. Resp. <i>PROINVERSIÓN, Concejo Municipal (sólo modificaciones sustanciales a bases)</i></p> <p>28. Formular y aprobar la versión final del Contrato de APP. Resp. <i>PROINVERSIÓN, Concejo Municipal, con Opinión Favorable del GL, MEF e Informe Previo de Contraloría</i></p> <p>29. Evaluar las propuestas y buena Pro. Resp. <i>Comité Especial de PROINVERSIÓN</i></p> <p>30. Firma del Contrato. Resp. <i>Titular del Gobierno Local</i></p>
		<p>Ejecución Contractual</p> <p>24. Contratar al Supervisor de Diseño y Obra. Resp. G. <i>Proyectos y Obras</i></p> <p>25. Elaborar el Expediente Técnico. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p> <p>26. Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental y obtener su aprobación. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p> <p>27. Obtener el CIRA, iniciar trámite para suscribir convenios y autorización de reúso. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p> <p>28. Obtener permiso municipal. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p> <p>29. Ejecutar la Obra. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p> <p>30. Poner en Marcha la PTAR. Resp. <i>Concesionario adjudicado</i></p>	

ETAPA	OBRA PÚBLICA	ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA	
		INICIATIVA ESTATAL (IEC)	INICIATIVA PRIVADA (IPC)
Funcionamiento	26. Operar y Mantener la PTAR Municipal. <i>Resp. Servicios a la Ciudad o Parques y Jardines</i>	31. Operar y Mantener la PTAR Municipal durante el periodo de la Concesión. <i>Resp. Concesionario adjudicado</i>	

2

PRINCIPALES IDEAS DE ESTA SECCIÓN

01.

Esta guía recomienda siete pasos para la evaluación y formulación de un proyecto PTAR: (1) sustentar la necesidad del proyecto, (2) determinar la demanda del riego, (3) determinar las posibles ubicaciones para la infraestructura de la PTAR, (4) estimar las áreas necesarias para la PTAR, (5) estimar el OPEX y CAPEX, (6) estimar la retribución al concesionario privado bajo el mecanismo de APP y (7) elegir el mecanismo de inversión para el proyecto.

02.

El plan de implementación se presenta como una lista de actividades para concretar un proyecto municipal de implementación de una PTAR, que servirá a los funcionarios de los Gobiernos Locales, Supervisores y miembros del comité de inversiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Mac Graw-Hill, Tercera Edición traducida en España. Metcalf & Eddie, INC. 1991
- A guide to the biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 1995.
- Sistemas de Lagunas de Estabilización. Mac Graw-Hill, Colombia 2000. Sergio Rolim Mendonca
- Guía: Procesos Extensivos de Depuración de las Aguas Residuales adaptadas a las pequeñas y medianas colectividades (500 – 5000 HE). Comisión Europea, Oficina Internacional del Agua, Luxemburgo 2001.
- Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego. Universidad de Chile, Santiago 2005.
- Water Resources and Environment, Technical Note F.3. Wastewater Reuse. The World Bank, Washington D.C, 2005.
- Estudio Manejo Sostenible del Agua para Mejorar la Salud de las Ciudades del Mañana - Proyecto SWITCH, ONG IPES 2007.
- Manual para Municipios Ecoeficientes. Ministerio del Ambiente. Lima 2009.
- 6ta Cumbre de la Comisión Europea sobre la Implementación de la Directiva sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas. Comisión Europea, Brusellas 2011.
- Informe N° 1 de la Consultoría: Elaboración del Perfil del Proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Tratamiento de Aguas Residuales en Lima Metropolitana”, Werner Götz 2011.
- Estudio de Opciones de Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana, Lima Water (LIWA) 2011.
- Plan Nacional de Inversiones para el sector agua y saneamiento: urbano y rural, para el periodo 2014-2021, MVCS 2014.
- Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano Lima-Callao al 2035 (PLAM 2035), MML 2014.
- Plan de espacios abiertos e infraestructura ecológica con riego sostenible (PEAIE - 2035), SERPAR 2014.
- Información de caudales tratados por las PTAR de SEDAPAL al I Semestre 2014, SEDAPAL 2015.

- Información de volúmenes de agua facturada al 2014 y proyectada al 2020, SEDAPAL 2015.
- Plan Maestro Optimizado de SEDAPAL 2015-2020, SEDAPAL 2015.
- Revisión y Análisis del Estado de Avance de la Planificación y Planes de Reúso de Aguas Residuales Tratadas en Lima, PROACC, Ing. Juan Pablo Méndez Vega, 2015.
- Riego Sostenible: Reúso de aguas residuales tratadas para el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana. MML, Lima 2016.

LINKS ÚTILES

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

- Water Recycling and Reuse regulations of United States:
<https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/>
- Biosolids Regulation of United States:
<https://www.epa.gov/biosolids>
- Water Reuse - Background and policy context:
<http://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>
- PLAM 2035:
<http://limatieneunplam.blogspot.pe/2015/05/descarga-el-plam2035.html>
- Revisión y análisis del estado de avance actual de la planificación y planes de reúso de aguas residuales tratadas en Lima:
http://www.proagua.org.pe/descargaPRAG/Informe_Final_300515_Reúso_PROACC_Volumen_1.pdf
- Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución (2008):
http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
- Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las EPS (2015):
<http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

ENTIDADES O INSTITUCIONES DE REFERENCIA:

- Agencia de Promoción de la Inversión Privada (PROINVERSION):
<http://www.proinversion.gob.pe>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA):
<http://www.ana.gob.pe>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS):
<http://www.vivienda.gob.pe>
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF):
<https://www.mef.gob.pe>

LINKS UTILIZADOS PARA LA INCORPORACIÓN DE FOTOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO:

- [1] Disponible en: <http://www.aqualimpia.com/Biofiltros.htm> (Consulta: marzo 2017)
- [2] Disponible en: <http://filtrospc.blogspot.pe/> (Consulta: marzo 2017)
- [3] Disponible en: <http://bioplastdepuracion.com/index.php?s=noticia&n=11> (Consulta: marzo 2017)
- [4] Disponible en: <http://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/unfamed-suministra-sus-biodiscos-para-el-proyecto-de-la-edar-de-berrocal-en-huelva-GsURe> (Consulta: marzo 2017)
- [5] Disponible en: https://aquanatura.com.co/test/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=28 (Consulta: marzo 2017)
- [6] Disponible en: http://www.espina.es/?page_id=54 (Consulta: marzo 2017)
- [7] Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/ppresiduales/Slide34.gif> (Consulta: marzo 2017)
- [8] Disponible en: https://www.google.com.pe/search?q=lodos+activados&biw=1366&bih=662&source=Inms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiQh_rih8PSAhVIHZAKHUiBD6gQ_AUIBigB#imgsrc=FLkN-LXLsw0ehM (Consulta: marzo 2017)
- [9] Disponible en: <http://www.extraco.es/portfolio/edar-de-cambados-y-vilanova-de-arousa/> (Consulta: marzo 2017)

- [10] Disponible en: <http://www.lifecelsius.com/archena-life-celsius/> (Consulta: marzo 2017)
- [11] Disponible en: <http://www.ivem.es/depuracion-de-aguas.html> (Consulta: marzo 2017)
- [12] Disponible en: <http://jciind.com/wp-content/uploads/2015/05/Osawatomie.jpg> (Consulta: marzo 2017)
- [13] Disponible en: <http://www.xylem.com/treatment/no/products/iceas-advanced-sbr> (Consulta: marzo 2017)
- [14] Disponible en: http://aguasindustriales.es/wp-content/uploads/2014/01/Membranas_de_Ultrafiltraci%C3%B3n_de_fibra_hueca_reforzada.png (Consulta: marzo 2017)
- [15] Disponible en: <http://www.husseygaybell.com/portfolio/fripp-island-mbr-wastewater-treatment-plant/> (Consulta: marzo 2017)
- [16] Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/30044-central-termosolar-de-Garrovilla-instala-planta-para-tratamiento-de-aguas-residuales.html> (Consulta: marzo 2017)
- [17] Disponible en: http://www.bpwatertech.com/es/depuradores_biologicos/ (Consulta: marzo 2017)
- [18] Disponible en: <https://bookshop.europa.eu/es/procesos-extensivos-de-depuraci-n-de-las-aguas-residuales-adaptadas-a-las-peque-as-y-medias-colectividades-500-5.000-h.e--pbKH4402408/> (Consulta: marzo 2017)
- [19] Disponible en: <http://blumberg-engineers.com/en/9/pflanzenklaeranlagenEN> (Consulta: marzo 2017)
- [20] Disponible en: <https://webpages.uidaho.edu/larc380/new380/pages/qualityWetlands.html> (Consulta: marzo 2017)
- [21] Disponible en: <http://acotecnic.com/portfolio/ucubamba/> (Consulta: marzo 2017)
- [22] Disponible en: http://www.engenho9.com.br/slide_show_categorias/demos-jquery/navegador_ets.html (Consulta: marzo 2017)
- [23] Disponible en: <https://www.parkson.com/products/biolac/innovative-extended-retention-activated-sludge-process> (Consulta: marzo 2017)

ANEXOS

Anexo N°01: Estudios de Caso

Anexo N°02: Aspectos clave para dimensionamientos de Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Anexo N°03: Reúso y disposición de Lodos de PTARs

Anexo N°04: Datos Útiles para la estructuración Financiera de un APP

FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CASO 1 PTAR PARQUE MARÍA REICHE

OTORGADA EN CONCESIÓN POR LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MIRAFLORES

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
LODOS ACTIVADOS MBBR
(MOVING BED BIOFILM REACTOR)

COSTO
5/2.9 M Infraestructura
5/4.5 M (incluye O&M)

INFORMACIÓN ACTUALIZADA
a Mayo 2016

Área de Terreno de la PTAR: 400 m²

Caudal de Diseño: 750 m³/día

Área de riego: 15,43 Ha (15 parques)

Tipo de reuso:

Riego de áreas verdes públicas municipales

Año de Adjudicación: 2010

Año de Inicio de Operación: 2016

Administración:

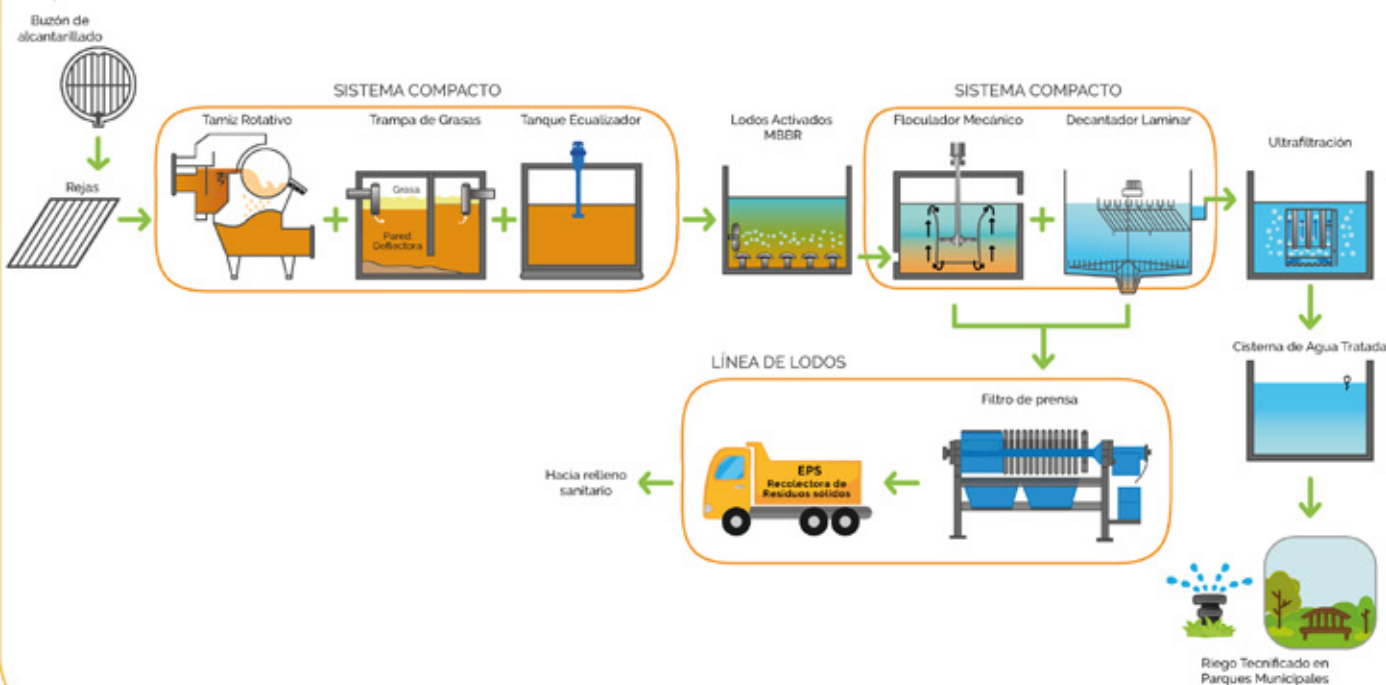
Esta planta fue adjudicada por la Municipalidad Distrital de Miraflores a la empresa CTG CAPITAL S.A.C., en agosto 2010, vía adjudicación directa de la Iniciativa Privada Autosostenible denominada "Proyecto de Planta de Tratamiento de Agua María Reiche, para el riego de parques y jardines del distrito de Miraflores", en el marco de vigencia del D.L. 1012 - Ley Marco de Asociaciones Público Privadas - y su reglamento D.S. 146-2008-EF.

El "Contrato de Concesión para el diseño, financiamiento, equipamiento, sustitución tecnológica, puesta en marcha, operación y mantenimiento" fue celebrado en noviembre de 2011 y tiene un plazo de concesión de 25 años.

Esta PTAR se encuentra en fase comercial de operación y mantenimiento, encontrándose el concesionario hábil para facturar a la Municipalidad de Miraflores por el volumen de agua que mensualmente suministra, conforme lo establecido en el Contrato de Concesión.

De acuerdo a los procesos unitarios que conforman la PTAR, ésta deberá suministrar un efluente apto para el riego de áreas verdes sin restricciones, es decir con acceso al público, garantizando la aptitud físico-química y microbiológica para el riego tecnificado. Los lodos deshidratados son transportados por una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) de recolección de residuos sólidos hasta un relleno sanitario.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CASO 2 PTAR JUAN PABLO II

BAJO CONCESIÓN MEDIANTE MECANISMO DE ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA (APP)

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
LODOS ACTIVADOS AGAR® MBBR
(MOVING BED BIOFILM REACTOR)

COSTO
5/0,0 M infraestructura
5/0,0 M (incluye O&M)

INFORMACIÓN ACTUALIZADA
a Mayo 2016

Área de Terreno de la PTAR: 1000 m²

Caudal de Diseño: 800 m³/día

Área de riego: 16 Ha de áreas verdes

Tipo de reúso:

Riego de áreas verdes públicas municipales

Año de Adjudicación: 2013

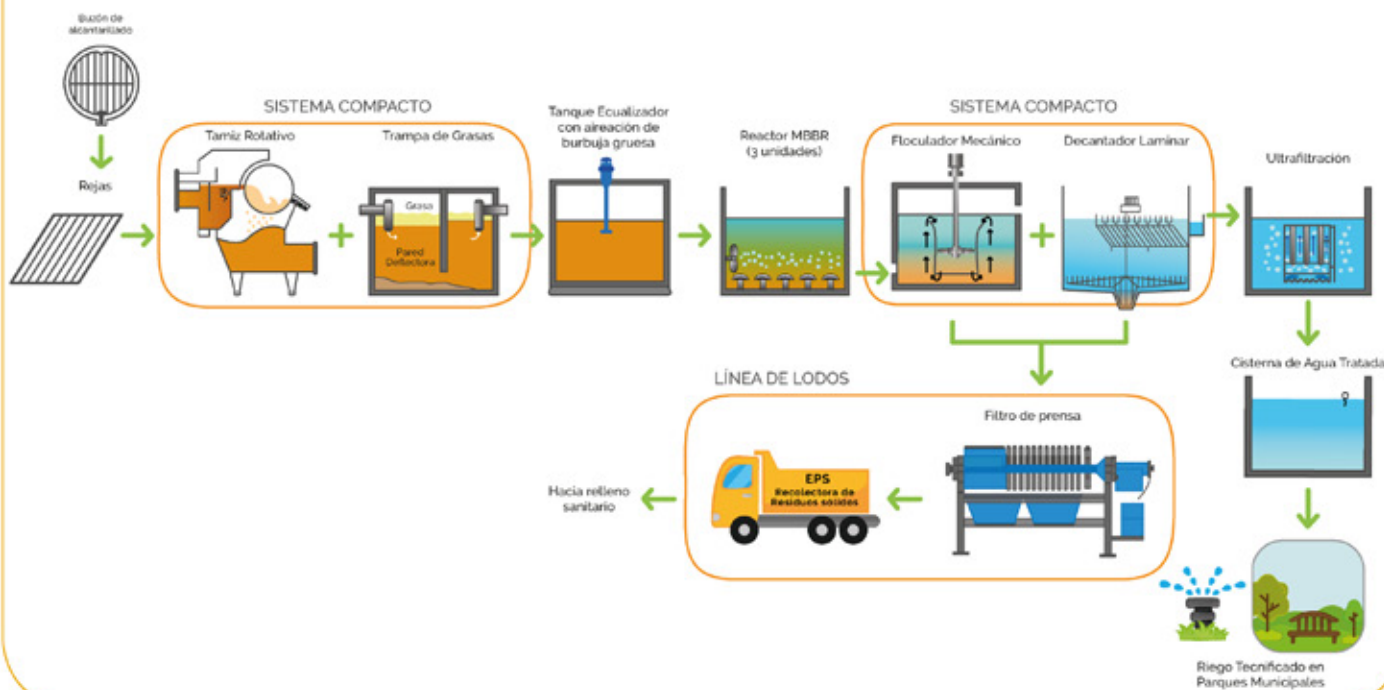
Año de Inicio de Operación: 2016

Administración:

En el año 2013, esta planta fue incorporada como adenda al Contrato de Concesión celebrado entre la Municipalidad Distrital de San Miguel y el Consorcio CTG CAPITAL S.A.C.- ETP Perú S.A.C. de mayo de 2011, para el proyecto denominado "Proyecto de tratamiento de agua residual y suministro de agua tratada para el riego de parques y Jardines de la municipalidad de San Miguel", el cual consideraba una PTAR en la berna central Av. Precursores con Av. Faucett, en el marco de vigencia del D.L. 1012 - Ley Marco de Asociaciones Público Privadas - y su reglamento D.S. 146-2008-EF. El proceso de promoción de la inversión privada de este proyecto fue concebido como una iniciativa estatal de la Municipalidad de San Miguel, que fue entregada en concesión en mayo de 2011 por un plazo de 30 años.

Es una planta de lodos activados cuyos reactores contienen un lecho móvil portante de biomasa a través del cual, mediante aeración, se degrada aeróbicamente la materia orgánica. El agua tratada es impulsada a 12 parques a través de una línea de distribución presurizada. Los procesos unitarios de la PTAR, deben producir un efluente apto para el riego de áreas verdes sin restricciones. El efluente debe contar la aptitud físico-química y microbiológica para el riego tecnificado. Los lodos deshidratados son transportados por una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) de recolección de residuos sólidos hasta un relleno sanitario.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CASO 3 PTAR PARQUE ZONAL EL MIGRANTE

BAJO LA ADMINISTRACIÓN DE SERPAR

Área de terreno de la ptar: Soterrada 250 m²
Caudal de diseño: 86,4 m³/día
Área de riego: 1,6 ha de áreas verdes
Tipo de reúso:
 Riego de áreas verdes públicas del Parque Zonal El Migrante
Año de adjudicación: 2014
Año de inicio de operación: 2016

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
 Lodos Activados de Aireación Prolongada

COSTO
 S/0,0 M Infraestructura
 S/0,0 M (incluye O&M)

INFORMACIÓN ACTUALIZADA
 a Mayo 2016

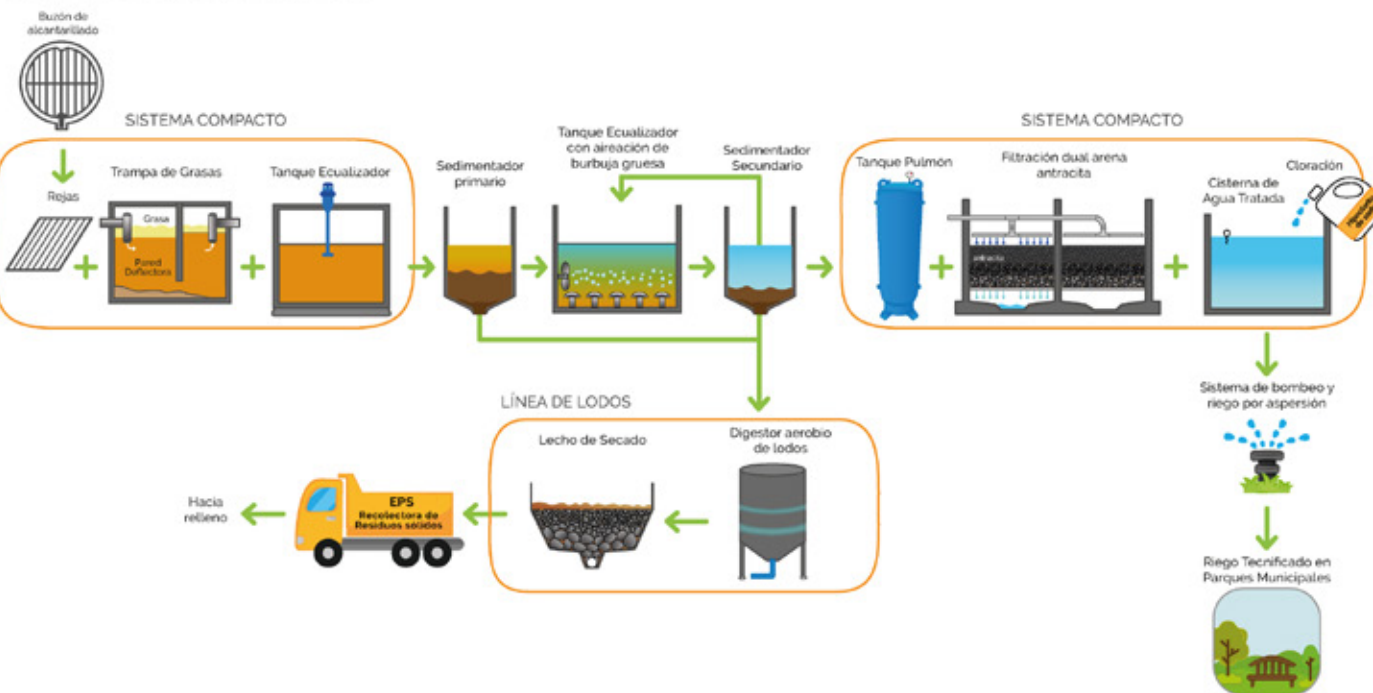
Administración:

En el año 2014, el Servicio de Parques y Jardines de Lima (SERPAR) adjudicó la construcción del Parque El Migrante, el cual incluyó como uno de sus componentes la conservación del recurso hídrico a partir de la construcción de una PTAR para el tratamiento y reúso de las aguas residuales domésticas en el riego de áreas verdes de dicho parque. La administración de dicha planta recae en SERPAR.

Es una planta de lodos activados de aireación prolongada. La PTAR debe suministrar un efluente apto para el riego de áreas verdes con acceso al público con la aptitud físico-química y microbiológica para el riego tecnificado.

El contratista entregó la obra a SERPAR en el año 2016 para que realice su operación y mantenimiento. SERPAR debe asegurar la disponibilidad de recursos humanos y logísticos para la adecuada operación y mantenimiento de la PTAR debido a la alta complejidad técnica del sistema.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CRISO 4 PTAR PARQUE ZONAL CAHUIDE

BAJO ADMINISTRACIÓN DE SERPAR

Área de terreno de la ptar: Soterrada 250 m²

Caudal de diseño: 320 m³/día

Área de riego: 6,4 ha de áreas verdes

Tipo de reúso:

Riego de áreas verdes públicas del Parque Zonal Cahuide

Año de adjudicación: 2013

Año de inicio de operación: 2016

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
Lodos Activados MBR
(MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR)

COSTO
S/0,0 M Infraestructura
S/0,0 M (incluye O&M)

INFORMACIÓN ACTUALIZADA
a Mayo 2016

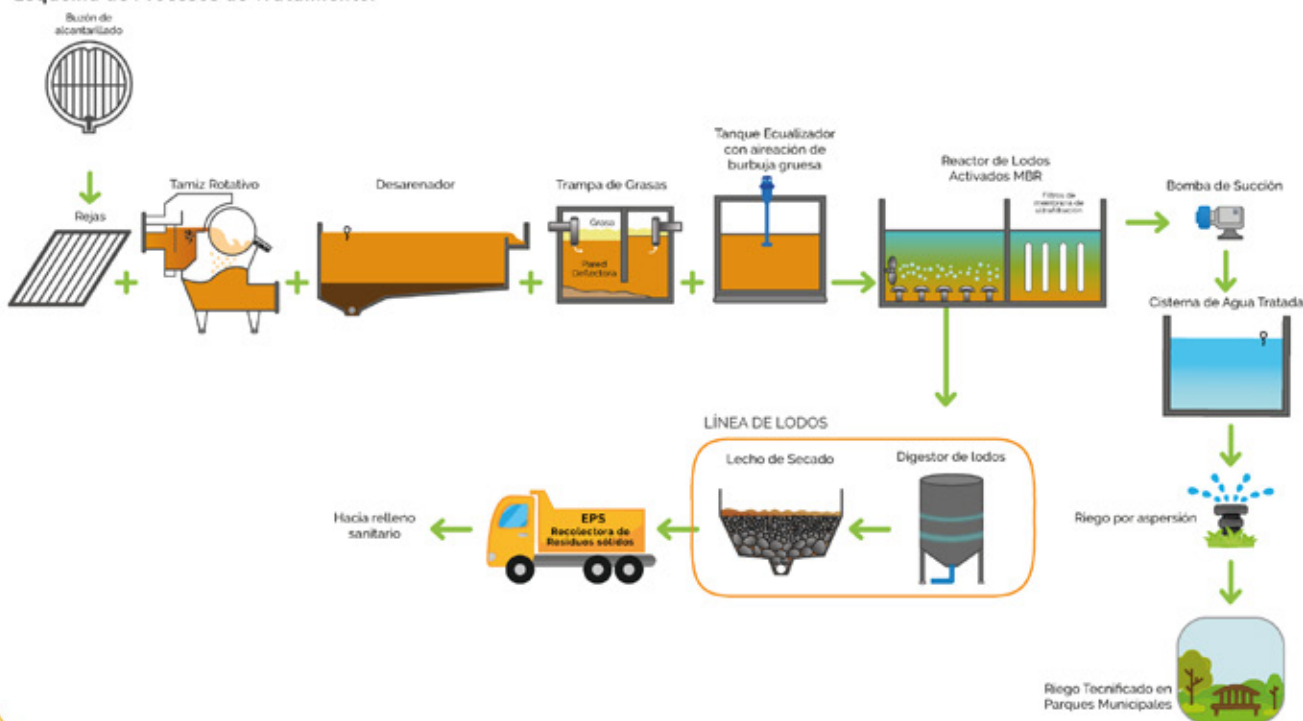
Administración:

La administración está a cargo de SERPAR. En el año 2013, el Servicio de Parques y Jardines de Lima (SERPAR), a través de la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS), adjudicó, bajo el mecanismo suma alzada y llave en mano, la construcción, el mejoramiento y ampliación de cinco (05) parques zonales, entre ellos el Parque Zonal Cahuide, el cual incluyó dentro de uno de sus componentes, la construcción de una PTAR para el tratamiento y reúso de las aguas residuales domésticas en el riego de áreas verdes de dicho parque.

Es una planta de lodos activados con tecnología MBR. Los filtros de membrana de ultrafiltración se ubican dentro del reactor biológico. Ellos aseguran la calidad e inocuidad del efluente tratado, y debe garantizar la aptitud físico-química y microbiológica del agua para riego. Los lodos secos son transportados por una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) de recolección de residuos sólidos hasta un relleno sanitario.

SERPAR debe asegurar la disponibilidad de recursos humanos y logísticos para la adecuada operación y mantenimiento de la PTAR debido a la alta complejidad técnica del sistema. La tercerización puede ser una opción para garantizar el adecuado funcionamiento y la calidad del efluente requerida para riego de áreas verdes.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CAJO 5

PTAR PARQUE GODOFREDO GARCÍA

BAJO ADMINISTRACIÓN DE LA MD DE SAN ISIDRO

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
PLANTA COMPACTA PREFABRICADA
DE FRP Y SISTEMA HBC*

COSTO
DONACIÓN

INFORMACIÓN ACTUALIZADA
a Mayo 2016

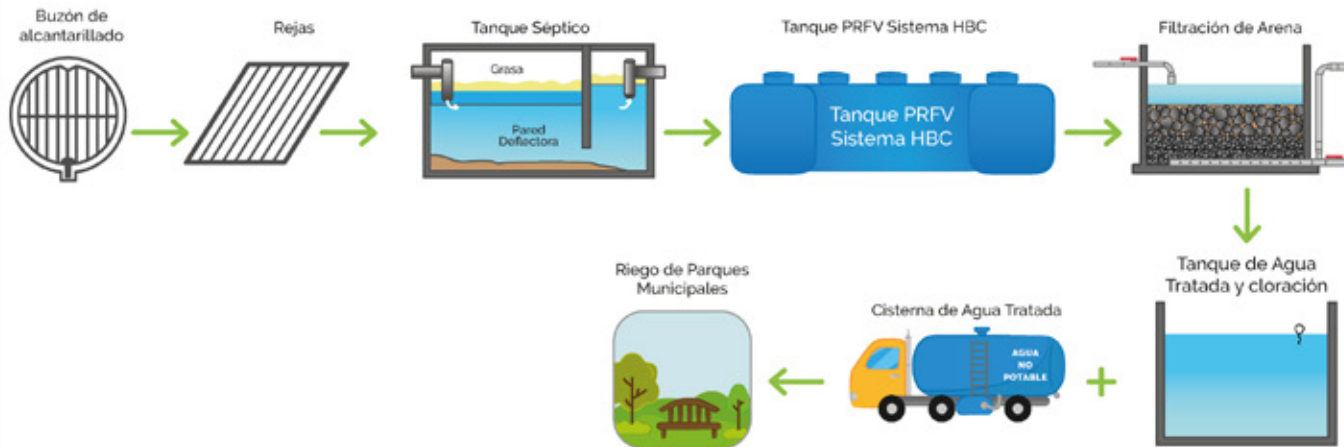
Área de terreno de la ptar: Soterrada en 150 m²
Caudal de diseño: 20 m³/día
Área de riego: 0,4 ha de áreas verdes
Tipo de reúso: Riego de áreas verdes públicas municipales
Año de adjudicación: Donación vía Convenio con Municipalidad
Año de inicio de operación: 2010

Administración:

La administración está a cargo de la Municipalidad de San Isidro. Esta planta fue donada en el año 2010 por un proveedor.

Es una planta compacta de lodos activados, con medio fijo y aeración intermitente, instalada dentro de un tanque de fibra de vidrio reforzado con poliéster. La limitada cantidad de lodos que genera el sistema es recirculada en el tanque, evitando la necesidad de una línea de tratamiento de lodos.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



* PLANTA COMPACTA PREFABRICADA DE FIBRA DE VIDRIO REFORZADO CON POLIÉSTER (FRP) Lodos Activados con Medio Fijo y Aeración Temporalizada (Sistema HBC)

FICHA TÉCNICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CASO 6

PTAR ESTADIO MUNICIPAL DE LA MOLINA

BAJO ADMINISTRACIÓN DE LA MD DE LA MOLINA

Área de terreno de la ptar: 100 m²
Caudal de diseño: 25 m³/día
Área de riego: 0,5 ha de áreas verdes ornamentales
Tipo de reúso: Riego de áreas verdes públicas municipales
Año de adjudicación: 2010
Año de inicio de operación: 2012

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
 LODOS ACTIVADOS

COSTO
 S/0,0 M (Infraestructura)
 S/0,0 M (incluye O&M)

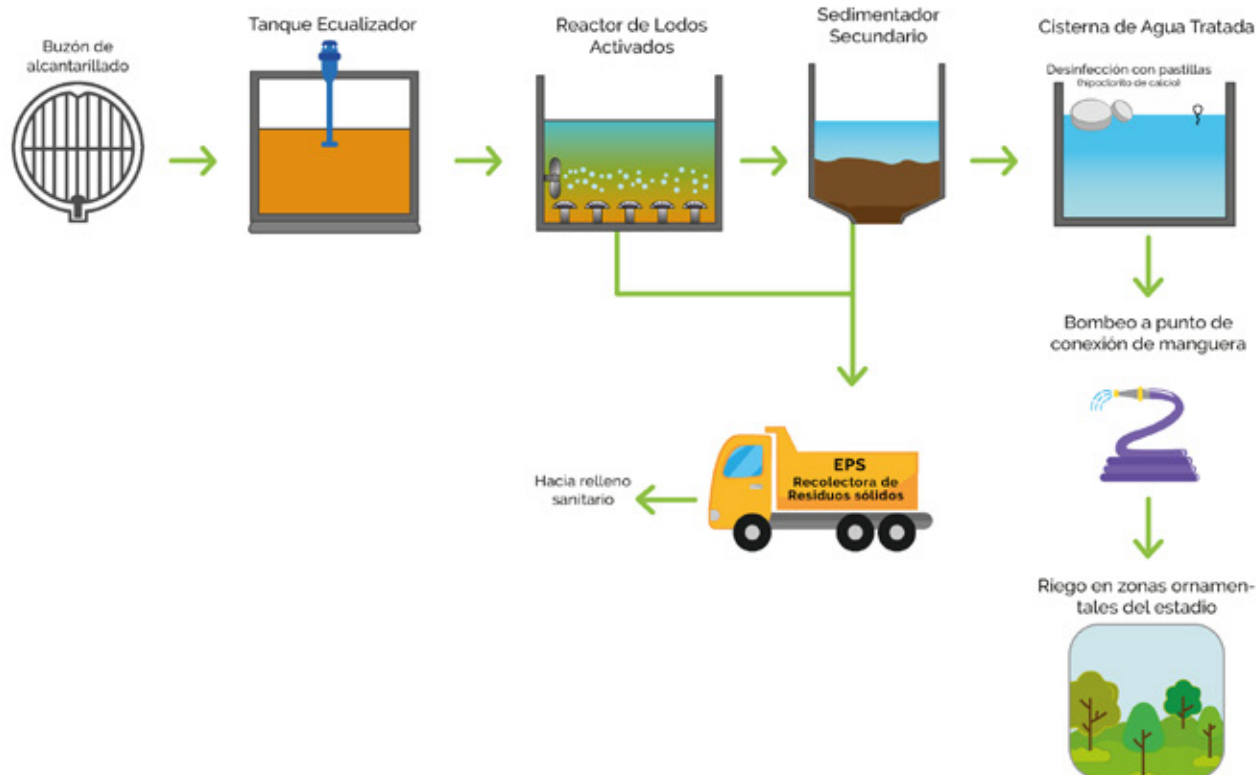
INFORMACIÓN ACTUALIZADA
 a Mayo 2016

Administración:

La administración está a cargo de la Municipalidad Distrital de La Molina. Fue construida, mediante inversión pública, para regar las áreas verdes sin acceso público del Estadio Municipal de Muso.

Es una planta de lodos activados convencional cuyo efluente es únicamente usado para el riego de áreas verdes del estado municipal con acceso restringido al público. El riego se realiza en las zonas perimétricas ornamentales con excepción de las áreas donde el público practica deporte. Los lodos del sedimentador secundario son removidos por una Empresa Prestadora de Servicios (EPS) de recolección de residuos sólidos mediante un camión con bomba de succión.

Esquema de Procesos de Tratamiento:



UBICACIÓN



FOTOS



Anexo 2: Aspectos clave para dimensionamientos de sistemas de tratamiento de aguas residuales¹

A continuación, se presentan aspectos clave para la selección y dimensionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esta información es de utilidad para aquellos profesionales responsables de la formulación de proyectos de sistemas de tratamiento con fines de riego de áreas verdes, así como para aquellos supervisores de los estudios de preinversión que incluyen las siguientes opciones tecnológicas:

1. Lechos Bacterianos (Filtros Percoladores o Filtros Biológicos)
2. Discos Biológicos (Sistemas Biológicos Rotativos de Contacto)
3. Lodos Activados Convencional
4. Lodos Activados de Aireación Prolongada Convencional
5. Lodos Activados Secuenciales (SBR)
6. Lodos Activados de Membranas (MBR)
7. Lodos Activados de Lecho Móvil Fluidizado (MBBR)
8. Plantas Compactas Prefabricadas (HBC)
9. Infiltración – Percolación
10. Filtros plantados de cañas de flujo vertical
11. Filtros plantados de cañas de flujo horizontal
12. Lagunas de oxidación natural facultativas
13. Lagunas aireadas

¹Basado en: AERM – Procedimientos de Depuración de Aguas Residuales para Pequeñas Poblaciones de la cuenca del Rhin-Meuse, Agencia del Agua 2007; e Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddie, 3era. Edición,

1. LECHOS BACTERIANOS (FILTROS PERCOLADORES O FILTROS BIOLÓGICOS)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de un lecho bacteriano (también llamado filtro percolador o filtro biológico) consiste en hacer correr aguas residuales previamente decantadas, sobre una masa de material poroso o cavernoso en donde están presentes microorganismos (bacterias) que se alimentan de la materia orgánica. De esta forma, el agua es tratada y puede reutilizarse.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s		0,30 ± 20%
Carga Superficial	m ³ /m ² /h		45 - 70
Tratamiento Primario: Tanque Imhoff			
Carga Superficial	m ³ /m ² /h	1 - 1,5	1
Periodo de Retención	h	1,5	1,5 - 2,5
Volumen Útil del Decantador	L/HE	20 - 45	
Volumen Útil del Digestor	L/HE	10 - 150	70 (15°C)
Lecho Bacteriano			
Altura (Medio Tradicional: Piedra, escoria)			
Baja y Media Carga	m	2,5	1,5 - 3,0
Alta Carga	m		1,0 - 2,0
Altura (Medio Plástico)			
Baja Carga	m	4	< 12

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Alta Carga	m		1,0 - 2,0
Carga Orgánica			
Baja Carga	kgDBO ₅ /m ³ /d	0,08 - 0,20	0,08 - 0,40
Media Carga	kgDBO ₅ /m ³ /d	0,7 - 0,8	0,40 - 4,80
Alta Carga	kgDBO ₅ /m ³ /d	1 - 5	
Carga Hidráulica			
Baja Carga	m ³ /m ² /d	0,96 - 4,8	1,0 - 4,0
Media Carga	m ³ /m ² /d	4,8 - 14,4	
Alta y Muy Alta Carga	m ³ /m ² /d	14,4 - 38,4	8,0 - 40
Tasa de Recirculación	%	200 250	-
Sedimentador Secundario			
Carga Superficial	m ³ /m ² /d	24	< 48
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	50	500
DQO	mg/l	100	1000
SST	mg/l	50	500
Nitrógeno (NTK)	mg/l	10	100
Fósforo Total	mg/l	2	15
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados ²	Norma OS-090
DBO ₅	%	90 (Baja Carga)	50 - 90
DQO	%	80 (Baja Carga)	-
SST	%	70	70 - 90
Coliformes	ciclos Log.	0	0 - 2

² Valores esperados para Filtros Percoladores de Baja Carga que permiten la formación de bacterias nitrificantes y fosforreductoras en capas inferiores del filtro,

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Termotolerantes			
Huevos de Helmintos	ciclos Log.	0	0 - 1
Nitrógeno (NTK)	%	70 (Baja Carga)	-
Nitrógeno Total	%	70 (Baja Carga)	-
Fósforo Total	%	50 (Baja Carga)	-

2. DISCOS BIOLÓGICOS (SISTEMAS BIOLÓGICOS ROTATIVOS DE CONTACTO)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Consiste en un sistema de tratamiento que se basa en el uso de cultivos fijos microbianos adheridos sobre discos o cilindros giratorios que rotan alrededor de su eje. Estos discos o cilindros están sumergidos, generalmente, hasta 40% de su diámetro, de modo que, al rotar, permiten que la biopelícula (es decir, la capa donde se encuentran los cultivos microbianos) se ponga en contacto alternadamente con el agua residual y con el aire, alimentándose de la materia orgánica.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	Cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s		0,30 ± 20%

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Carga Superficial	m ³ /m ² /h		45 - 70
Tratamiento Primario: Tanque Imhoff)			
Carga Superficial	m ³ /m ² /h	1 - 1,5	1
Periodo de Retención	h	1,5	1,5 - 2,5
Volumen Útil del Decantador	L/HE	20 - 45	-
Volumen Útil del Digestor	L/HE	10 - 150	70 (15°C)
Discos Biológicos			
Ancho del Disco	cm	2 - 3	-
Diámetro del Disco	m	2 - 3	-
Velocidad de rotación	rpm	1 - 2	-
Velocidad Tangencial	m/min	13 (max 20)	18
Volumen Tanque/Área de Disco	l/m ²		4,88
Carga Hidráulica			
Remoción DBO ₅	m ³ /m ² /d	0,08 - 0,16 (°)	0,03 - 0,16
Remoción DBO ₅ + Nitrificación	m ³ /m ² /d	0,03 - 0,08 (°)	
Tiempo de Retención Hidráulica (θ)			
Remoción DBO ₅	h	0,7 - 1,5 (°)	-
Remoción DBO ₅ + Nitrificación	h	1,5 - 4,0 (°)	
Carga Orgánica Superficial según objetivo de calidad			
≤ 35 mg DBO ₅ /l	gDBO ₅ (S)/m ² /d	9	-
≤ 25 mg DBO ₅ /l	gDBO ₅ (S)/m ² /d	7	-
≤ 15 mg DBO ₅ /l + Nitrificación	gDBO ₅ (S)/m ² /d	6	-
Tasa de Recirculación	%	-	-
Sedimentador Secundario			

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Carga Superficial	m ³ /m ² /d	24	< 48
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	50	500
DQO	mg/l	100	1000
SST	mg/l	50	500
Nitrógeno (NTK)	mg/l	10	100
Fósforo Total	mg/l	2	15
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Valores Esperados ³
DBO ₅	%	80	65 - 95
DQO	%	70	-
SST	%	80	-
Coliformes Termotolerantes	ciclos Log.	0	-
Huevos de Helmintos	ciclos Log.	0	-
Nitrógeno (NTK)	%	30	-
Nitrógeno Total	%	30	-
Fósforo Total	%	25	-

(S) DBO Soluble.

3. LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El proceso convencional de tratamiento de "lodos activados" consiste en mezclar y en agitar las aguas residuales crudas con lodos bacteriológicamente muy activos cuando están en presencia de oxígeno, mediante la inyección de aire dentro de tanques denominados reactores biológicos. La degradación aerobia de la materia orgánica se efectúa mediante la mezcla de los microorganismos depuradores con el agua

³ Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddie, 3era Edición

residual a tratar. Luego, mediante sedimentación o decantación posterior, se separan las "aguas depuradas" de los "lodos depuradores"; estos últimos retornan al reactor o son descartados, previo tratamiento, si se encuentran en exceso.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO			
ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Decantador Primario (Sin Recirculación)			
Periodo de retención	Horas	2 (1,5 - 2,5)	2 (1,5 - 2,5)
Carga Hidráulica Superficial Media	m ³ /m ² /d	32 - 48	24 - 60
Carga Hidráulica Superficial Máxima	m ³ /m ² /d	100 (80 - 122)	-
Carga sobre vertedero en Punta	m ³ /m/d	250 (126 - 495)	250 (125 - 500)
Profundidad (Circulares)	m	3,6 (3 - 4,5)	3 - 5
Profundidad (Rectangulares)	m	3,6 (3 - 4,5)	3 (2 - 3,5)

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO			
ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Decantador Primario (Con Recirculación)			
Periodo de retención	Horas	2 (1,5 - 2,5)	2 (1,5 - 2,5)
Carga Hidráulica Superficial Media	m ³ /m ² /d	24 - 32	24 - 60
Carga Hidráulica Superficial Máxima	m ³ /m ² /d	61 (48 - 70)	-
Carga sobre vertedero en Punta	m ³ /m/d	250 (126 - 495)	250 (125-500)
Profundidad (Circulares)	m	3,6 (3 - 4,5)	3 - 5
Profundidad (Rectangulares)	m	3,6 (3 - 4,5)	3 (2 - 3,5)
Lodos Activados (aireación por difusores)			
Profundidad Tanque	m	4,6 - 7,6	-
Relación Ancho: Profundidad		1,5:1 (1:1-2,2:1)	-
Relación Longitud: Ancho		≥5:1	-
Periodo de Retención Hidráulico (θ)	horas	4 - 8	4 - 8
Periodo de Retención Celular o Edad del Lodo (θc)	días	5 - 15	4 - 15
Carga Volumétrica	kgDBO ₅ /m ³ . d	0,32 - 0,64	0,3 - 0,6
Sólidos Suspendedos en Tanque de Aireación (SSTA)	kgSSTA/m ³	1,5 - 3	1,5 - 3
Carga Másica (F/M)	kgDBO ₅ / kgSSVTA.d	0,20 - 0,40	0,20 - 0,40
Tasa de Recirculación	%	25 - 75	25 - 50

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO			
ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
para Q _{mh}			
Decantador Secundario (Sin Recirculación)			
Carga Hidráulica Superficial Media	m ³ /m ² /d	16 - 32	16 - 32
Carga Hidráulica Superficial Máxima	m ³ /m ² /d	40 - 48	40 - 48
Carga de Sólidos Media	kg/m ² /h	3,90 - 5,85	-
Carga de Sólidos Punta	kg/m ² /h	9,76	-
Profundidad	m	3,6 - 6	3,5 - 5
Pendiente de Fondo (estático/barredor de lodos)	°	> 55 / >5	> 60/ 1:12
Periodo mínimo de almacenaje del lodo seco para uso agrícola	meses	9	6
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	85 - 95	75 - 95
DQO	%	-	-
SST	%	-	70 - 95
Coliformes	ciclos Log.	-	0 - 2

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO			
ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Termotolerantes			
Huevos de Helminos	ciclos Log.	-	0 - 1
Nitrógeno (NTK)	%	15 - 50	-
Nitrógeno Total	%	10 - 30	-
Fósforo Total	%	10 - 25	-

4. LODOS ACTIVADOS DE AERACIÓN PROLONGADA CONVENCIONALES

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La tecnología de aeración prolongada o extendida es un proceso de Lodos activados con mayor tiempo de tratamiento (hasta 24 horas, comparado con 6 a 8 horas en Lodos activados convencionales). Este mayor tiempo de aeración permite que el lodo purgado del reactor salga digerido evitando la generación de malos olores y atraiga vectores, Los procesos de lodos activados tipo carrusel o zanjas de oxidación caen en esta clasificación.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica	m ³ /m ² /h	-	45 - 70

Superficial			
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Lodos Activados			
Demanda de Oxígeno	kgO ₂ /kgDBO ₅ removida	1,7	-
Periodo de Aireación	horas	14	
Densidad de Energía	w/m ³	30 - 40 (aireación mecánica) 10 - 20 (Difusores de burbuja fina)	30 - 50 (aireación mecánica)
Altura del Reactor Biológico			
Profundidad Máxima de Turbina	m	3	-
Profundidad Mínima de Difusor	m	3	
Profundidad del Tanque	m	4 - 6	
Especificaciones particulares			
Periodo de Retención Hidráulico (θ)	horas	24 (18 - 36) ⁽⁴⁾	16 - 48
Periodo de Retención Celular o Edad del Lodo (θc)	días	20 - 30 ⁽⁴⁾	20 - 60
Carga Volumétrica	kgDBO ₅ /m ³ .d	0,35 (0,16 - 0,4) ⁽⁴⁾	0,2 - 0,3
Sólidos Suspendidos en Tanque de Aireación (SSTA)	kgSSTA/m ³	4 - 5	3 - 6

Carga Másica (F/M)	kgDBO ₅ /kgSS VTA _d	0,05 - 0,15 ⁽⁴⁾	0,05 - 0,50
Tasa de Recirculación para Q _{mh}	%	100 (50 - 150) ⁽⁴⁾	75 - 300
Decantador Secundario			
Carga Hidráulica Superficial (sin recirculación)			
Media	m ³ /m ² /d	14,4	8 - 16
Máxima	m ³ /m ² /d	-	24 - 32
Profundidad	m	-	3,5 - 5
Pendiente de Fondo (estático/barredor de lodos)	°	> 55 />5	> 60/1:12
Periodo mínimo de almacenaje del lodo seco para uso agrícola	meses	9	6
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	90 - 95	75 - 95
DQO	%	80 - 90	-
SST	%	85 - 95	70 - 95
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	1 - 3	0 - 2
Huevos de Helminetos	Ciclos Log.	-	0 - 1
Nitrógeno (NTK)	%	75 - 90	-
Nitrógeno Total	%	60 - 75	-
Fósforo Total	%	40 - 55	-

⁴ Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddie, 3ªra Edición

5. LODOS ACTIVADOS DE AERACIÓN PROLONGADA (SBR)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El Reactor biológico secuencial consta de los procesos de a) reacción biológica y b) decantación, **en el mismo tanque**. No requiere, por lo tanto, de decantador secundario, por lo que es una tecnología más compacta que el proceso de lodos activados de aireación prolongada convencional. El proceso se realiza, entonces, en un solo tanque reactor, en cuatro fases: llenado, aireado, decantado y vaciado.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Lodos Activados			
Demanda de Oxígeno	kgO ₂ /kgDBO ₅ removida	-	-
Número de Tanques		2	-
Ciclos de funcionamiento	horas	3 ciclos de 8 horas	-
Volumen Disponible	% del Volumen	50	-

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
para Alimentación de AR Cruda	Total del Tanque		
Densidad de Energía del Aireador	W/m ³	15 - 25	-
Densidad de Energía del Agitador	W/m ³	2 - 4	-
Profundidad de Tanque c/difusores)	m	4 - 6	-
Periodo de Retención Hidráulico (θ)	horas	(12 - 50)	-
Periodo de Retención Celular o Edad del Lodo (θc)	días	10 - 15	-
Carga Volumétrica	kgDBO ₅ /m ³ . d	0,11 (0,08 - 0,24)	-
Sólidos Suspendidos en Tanque de Aireación (SSTA)	kgSSTA/m ³	3 (1,5 - 5)	-
Carga Másica (F/M)	kgDBO ₅ /kgSSVTA.d	0,06 (0,05 - 0,30)	-
Tasa de Recirculación para Q _{mh}	%	No Aplicable	-
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	500
DQO	mg/l	150	1000
SST	mg/l	60	500
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	100
Fósforo Total	mg/l	2,5	15
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	95	75 - 95
DQO	%	90	-
SST	%	90	70 - 95
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	1 - 3	0 - 2
Huevos de Helmintos	Ciclos Log.	-	0 - 1
Nitrógeno (NTK)	%	95	-
Nitrógeno Total	%	50 - 80	-
Fósforo Total	%	50 - 60	-

6. REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA (MBR)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Esta tecnología es similar al sistema de lodos activados de mezcla completa, con la diferencia que la separación sólido - líquido se realiza mediante filtración de membranas y no mediante sedimentación en un decantador secundario. Se puede operar con una mayor concentración de lodos en el reactor, cortos periodos de retención hidráulica y largos periodos de retención celular; por lo tanto, se trata de una tecnología más compacta.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamento entre barras	cm	3	2 - 5

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Tratamiento Secundario: Reactor Biológico			
Densidad de Energía	kWh/m ³	0,15	-
Parámetros de Control			
Periodo de Retención Hidráulico (θ)	horas	12 (10 - 16)	-
Periodo de Retención Celular o Edad del Lodo (θc)	días	≥ 40	-
Carga Volumétrica	kgDBO ₅ /m ³ .d	1,5 (1 - 2)	-
Sólidos Suspendedos en Tanque de Aireación (SSTA)	kgSSTA/m ³	18 (18- 20)	-
Carga Másica (F/M)	kgDBO ₅ /kg SSVTA.d	0,07 (0,05 - 0,15)	-
Tasa de Recirculación para Q _{mh}	%	0	-
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090 ⁵
DBO ₅	%	> 97	-
DQO	%	89 - 98	-
SST	%	> 99	-
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	6 - 7	-
Huevos de Helmintos	Ciclos Log.	3 - 4	-
Nitrógeno (NTK)	%	80 - 90	-
Nitrógeno Total	%	36 - 80	-
Fósforo Total	%	62 - 97	-

7. REACTOR BIOLÓGICO DE LECHO MÓVIL FLUIDIZADO (MBBR - MOVING BED BIOFILM REACTOR)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Esta tecnología se basa en el sistema de lodos activados convencional, pero utiliza el principio de lecho bacteriano sobre un medio de soporte plástico móvil, debido a que, dentro del reactor biológico, se introducen miles de dispositivos móviles (carriers) que se mantienen suspendidos y recirculando por la acción del flujo de aire inyectado y sobre los cuales se adhiere una película biológica que se encarga de la degradación de la materia orgánica. Este sistema permite una alta densidad de microorganismos adheridos, lo que a su vez reduce el dimensionamiento del reactor y tiene alta producción de lodos sin estabilizar. Por lo tanto, se trata de una tecnología más compacta que el proceso de lodos activados convencional.

⁵ La norma no regula este proceso, sin embargo, sus eficiencias de remoción son mayores a cualquiera de los procesos regulados,

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Tratamiento Secundario: Reactor Biológico			
Periodo de Retención Hidráulico (θ)	horas	4 - 5	-
Periodo de Retención Celular o Edad del Lodo (θc)	días	4	-
Carga Volumétrica	kgDBO ₅ /m ³ .d	0,43	-
Carga Superficial de Lecho	kgDBO ₅ /m ² .d	Alta Carga > 20 Media Carga (5 - 15) Baja Carga < 5	-
Sólidos Suspendedos en Tanque de Aireación (SSTA)	kgSSTA/m ³	1 - 5	-
Carga Másica (F/M)	kgDBO ₅ /kgSS VTA.d	0,84	-
Tasa de Recirculación para Q _{mh}	%	0	-
Decantador Secundario			
Carga Hidráulica Superficial (sin recirculación)			
Media	m ³ /m ² /d	14,4	8 - 16
Máxima	m ³ /m ² /d	-	24 - 32
Profundidad	m	-	3,5 - 5

Pendiente de Fondo (estático/barredor de lodos)	°	> 55 / >5	> 60/1:12
Periodo mínimo de almacenaje del lodo seco para uso agrícola	meses	9	6
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	75 - 95	-
DQO	%	65 - 70	-
SST	%	85 - 95	-
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	S.I.	-
Huevos de Helminthos	Ciclos Log.	S.I.	-
Nitrógeno (NTK)	%	S.I.	-
Nitrógeno Total	%	S.I.	-
Fósforo Total	%	S.I.	-

8. PLANTAS COMPACTAS PREFABRICADAS (HBC)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las plantas compactas pueden ser prefabricadas con PRFV o Acero Inoxidable, pero en Lima se ha identificado la instalación de una planta PRFV aerobia de cultivo fijo (HBC). Esta tecnología consta de un reactor cerrado que recibe aireación intermitente sobre un soporte fijo de líneas de nylon tendidas verticalmente que permiten la formación

de un medio biológico adherido. A diferencia del proceso de Lodos activados convencional, donde los microorganismos entran en contacto con el agua residual solo durante la aeración, el sistema HBC permite el contacto permanente de los microorganismos con la materia orgánica, a pesar de que la aeración sea intermitente, al darle a los microorganismos un medio fijo donde adherirse y suspenderse. En el medio de soporte se forma una biopelícula en donde se produce la digestión aeróbica en la parte exterior y anaeróbica en la interior, creando condiciones para la nitrificación – desnitrificación.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Tratamiento Primario: Sedimentación Primaria			
Sin Información para HBC			
Tratamiento Secundario: Reactor Biológico			
Sin Información para HBC			
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
DBO ₅	mg/l	Sin Información para HBC	
DQO	mg/l		
SST	mg/l		
Nitrógeno (NTK)	mg/l		
Fósforo Total	mg/l		
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	Sin Información para HBC	
DQO	%		
SST	%		
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.		
Huevos de Helmintos	Ciclos Log.		
Nitrógeno (NTK)	%		
Nitrógeno Total	%		
Fósforo Total	%		

9. INFILTRACIÓN - PERCOLACIÓN

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Este proceso de tratamiento de aguas residuales se basa en el proceso de filtración biológica aerobia sobre un medio granular fino (arena). El agua se distribuye, uniformemente, sobre el lecho filtrante no cubierto, a través de canaletas de repartición o dispositivos aspersores del efluente.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s		0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h		45 - 70
Tratamiento Primario: Tanque Imhoff, Biodigestores o Tanque Séptico.			
Carga Superficial	m ³ /m ² /h	1 - 1,5	1
Periodo de Retención	h	1,5	1,5 - 2,5
Volumen Útil del Decantador	L/HE	20 - 45	-
Volumen Útil del Digestor	L/HE	10 - 150	70 (15°C)
Tratamiento Secundario: Lecho de Infiltración - Percolación			
Número de Ciclos	Ciclos/día	3 - 6	> 2
Altura Lámina de Agua por Ciclo	cm	3 - 5	5
Altura Lámina de Agua Promedio	cm/día	15	-
Altura Lámina de Agua Máxima	cm/día	90	-
Número mínimo de filtros	unidades	3 o múltiplo de 3	2
Carga hidráulica	m ³ /m ² /d		0,08-0,2 (af. Primario) 0,2-0,4 (af. Secundario)
Área Unitaria de Lecho No Cubierto	m ² /HE ₆₀	1,5	-
Área Unitaria de Lecho	m ² /HE ₆₀	3	-

Cubierto			
Profundidad del Lecho (remoción microbiológica)	m	0,8-1 (0 unid, Log.) 2,5-3 (2 unid, Log.) 3 (3 unid, Log.)	0,6 -0,9
Tamaño efectivo de arena (TE)	mm	-	0,35 - 1
Coefficiente de uniformidad (Cu)		-	3,5 (< 4)
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	90	-
DQO	%	85	-
SST	%	90	-
Coliformes Termotolerantes	ciclos Log.	2 - 4	-
Huevos de Helmintos	ciclos Log.	-	-
Nitrógeno (NTK)	%	75	-
Nitrógeno Total	%	35	-
Fósforo Total	%	40	-

10. FILTROS PLANTADOS DE CAÑAS FLUJO VERTICAL

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Se trata de filtros estancos construidos bajo el nivel del suelo, rellenos con capas sucesivas de grava o de arena, de una granulometría variable según la calidad de las aguas residuales que se deban tratar. A la inversa de la infiltración-percolación, anteriormente descrita, el afluente se reparte directamente y de forma intermitente, sin decantación previa, por la superficie del filtro,

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Lecho Filtrante			
Altura Lámina de Agua Promedio (1era Etapa)	cm/día	15	-
Altura Lámina de Agua Máxima	cm/día	90	-
Velocidad de flujo del agua	m/s	0,6	-
Superficie Unitaria Total	m ² /HE	2 - 2,5	-
Superficie Unitaria 1era Etapa	m ² /HE	1,2 para más de uno 1,5 para uno	-
Superficie Unitaria 2da Etapa	m ² /HE	0,8	-
Periodo de Retención	horas	Aprox. 1 h (2 Etapas)	-
Carga Orgánica Superficial	kg DBO ₅ /m ² .d	0,02 - 0,025	-
Carga Orgánica Superficial	kg DBO ₅ /m ² .d	0,045	-

(1era Etapa)			
Densidad de Cañas	cañas/m ²	4	-
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	90	-
DQO	%	85	-
SST	%	90	-
Coliformes Termotolerantes	ciclos Log.	1 - 3	-
Huevos de Helmintos	ciclos Log.	-	-
Nitrógeno (NTK)	%	85	-
Nitrógeno Total	%	45	-
Fósforo Total	%	40	-

11. FILTROS PLANTADOS DE CAÑAS DE FLUJO HORIZONTAL

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Es un sistema similar al de los filtros de flujo vertical, pero el lecho filtrante está casi totalmente saturado de agua. La alimentación se efectúa casi siempre en continuo ya que la carga orgánica aportada es débil. El afluente se reparte sobre toda la anchura y la altura del lecho gracias a un sistema repartidor situado a un extremo que fluye principalmente en un sentido horizontal a través del sustrato.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s	-	0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	-	45 - 70
Tratamiento Preliminar: Desengrasador			
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h	20	-
Periodo de Retención	Horas	0,16 - 0,25	-
Tratamiento Primario: Tanque Imhoff (Opcional: Biodigestores, Tanque Sep., Lag. Sedim, o Filtros Verticales)			
Carga Superficial	m ³ /m ² /h	1 - 1,5	1
Periodo de Retención	h	1,5	1,5 - 2,5
Volumen Útil del Decantador	L/HE	20 - 45	-
Volumen Útil del Digestor	L/HE	10 - 150	70 (15°C)
Lecho Filtrante			

Superficie Unitaria Total	m ² /HE	8 - 9	-
Carga Orgánica Superficial máx.	kg DBO ₅ /m ² . d	0,008	-
Carga Hidráulica Superficial máx.	m ³ /m ² . d	0,05	-
Superficie útil	m ² /HE ₆₀	5 (c/ T. Imhoff o Biodigestor) 2 - 3 (c/ filtro vertical) 10 (si DBO ₅ > 300 mg/l)	-
Profundidad del Lecho	M	≤ 0,60	-
Densidad de Cañas	cañas/m ²	4	-
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	60	700
DQO	mg/l	150	1500
SST	mg/l	60	700
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	150
Fósforo Total	mg/l	2,5	20
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅	%	75 - 90	-
DQO	%	-	-
SST	%	80	-
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	-	-
Huevos de Helminos	Ciclos Log.	-	-
Nitrógeno (NTK)	%	35	-
Nitrógeno Total	%	-	-
Fósforo Total	%	30	-

12. LAGUNAS DE OXIDACIÓN NATURAL FACULTATIVAS

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Mediante este proceso, se asegura la depuración del agua debido al largo tiempo de retención de la misma en varias lagunas estancas dispuestas en serie. Se caracteriza por reproducir, en unas balsas construidas al efecto, los fenómenos de autodepuración que se dan de forma natural en ríos y lagos. Recibe el nombre de lagunas facultativas porque presentan fenómenos aerobios, anaerobios y facultativos.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO

Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
Tratamiento Preliminar: Rejas Gruesas			
Espaciamento entre barras	cm	3	2 - 5
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal			
Velocidad de flujo	m/s		0,30 ± 20%
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h		45 - 70
Tratamiento Secundario: Lagunas Facultativas			
Permeabilidad Máxima del Suelo	m/s	10 ⁻⁸	
Periodo de Retención	días	60	
Pendiente de Talud Exterior	V:H	1:2,5	1:2 - 1:3
Pendiente de Talud Interior	V:H	1:1,5	1:1,5 - 1:2
Relación mínima Largo: Ancho	L: A	-	2:1
Factor de Dispersión (d)	-	-	0,5
Borde Libre	m	-	0,5
Número mín. de lagunas paralelas	und	-	2

Periodo de Retención Mínimo en al menos una laguna	días	-	10
Laguna Primaria			
Carga Superficial a 20°C (Cd)	kg DBO ₅ /ha.d	-	250
Dimensiones	m ² /HE	6	-
Profundidad	m	1,2 - 1,8	> 1,5
Periodo de Retención	días	30 - 40	-
Laguna Secundaria			
Coefficiente de Mortandad Bacteriana a 20°C (K ₂₀)	día ⁻¹	-	0,6 - 1
Dimensiones	m ² /HE	2,5	-
Profundidad	m	1,0 - 1,4	> 1,5
Periodo de Retención	días	7 - 10	-
Laguna Terciaria o de Maduración			
Coefficiente de Mortandad Bacteriana a 20°C (K ₂₀)	día ⁻¹	-	0,6 - 1
Dimensiones	m ² /HE	2,5	-
Profundidad	m	1,0 - 1,2	> 1,5
Periodo de Retención	días	7 - 10	-
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE			
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo
DBO ₅	mg/l	50	300
DQO	mg/l	100	700
SST	mg/l	50	400
Nitrógeno (NTK)	mg/l	10	65
Fósforo Total	mg/l	2	10
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅ Soluble	%	90	70 - 85

DQO	%	75	-
SST	%	80	-
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	3 - 4	1 - 6
Huevos de Helmintos	Ciclos Log.	-	1 - 4
Nitrógeno (NTK)	%	70	-
Nitrógeno Total	%	70	-
Fósforo Total	%	60	-

13. LAGUNAS AIREADAS

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Consiste en una serie de lagunas que reciben la oxigenación mecánicamente, a partir de un aireador de superficie o de una insuflación de aire para, finalmente, pasar a una laguna de decantación.

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO				
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090	
Tratamiento Preliminar: Rejas Gresas				
Espaciamiento entre barras	cm	3	2 - 5	
Tratamiento Preliminar: Desarenador Flujo Horizontal				
Velocidad de flujo	m/s		0,30 ± 20%	
Carga Hidráulica Superficial	m ³ /m ² /h		45 - 70	
Tratamiento Secundario: Laguna Aireada				
Densidad Energética	W/m ³	5 - 6	> 15	1 - 4
Dimensiones	m ² /HE ₆₀	1,5 - 3		
Periodo de Retención hidráulica	días	20	2 - 7	10 - 15
Periodo de Retención	días	3 - 6	-	-

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO				
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090	
Celular o Edad del Lodo (θc)				
Profundidad	m	2 - 3,5 (aireador de superficie) 2,5 para turbina de 4 kW 3 para turbina de 5,5 kW >4 para insuflación de aire.	3 - 5	> 1,5
Demanda de oxígeno	Kg O ₂ /kg DBO ₅	2	-	
Periodo de Operación Promedio por aireador	Horas/día	8	-	
Laguna de Sedimentación				
Periodo de Retención	días	5	-	
Número de Unidades	unidad	2	-	
Superficie unitaria	m ² /HE ₆₀	0,3 - 0,5	-	
Volumen necesario	m ³ /hab	0,8 - 1,2	-	
Profundidad	m	2	-	
Laguna de Maduración				
Periodo de Retención	días	1 - 2	-	
Número de Unidades	unidad	1	-	
Superficie unitaria	m ² /HE ₆₀	0,5 - 0,7	-	
Profundidad	m	0,3 - 1	-	
CONCENTRACIONES LÍMITE DEL AFLUENTE				
Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	
DBO ₅	mg/l	60	500	
DQO	mg/l	150	1000	

ASPECTOS CLAVE DEL DIMENSIONAMIENTO			
Parámetros	Unidad	Valores Standard	Norma OS-090
SST	mg/l	60	500
Nitrógeno (NTK)	mg/l	15	100
Fósforo Total	mg/l	2,5	15
EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
Parámetros	Unidad	Valores Esperados	Norma OS-090
DBO ₅ Soluble	%	90	80 - 90
DQO	%	80	-
SST	%	85	-
Coliformes Termotolerantes	Ciclos Log.	3 - 5	1 - 2
Huevos de Helmintos	Ciclos Log.	-	0 - 1
Nitrógeno (NTK)	%	60	-
Nitrógeno Total	%	60	-
Fósforo Total	%	50	-

Anexo 3: Reúso y disposición final de Lodos de PTARs

La legislación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Decreto Legislativo N° 1278, aprobado en diciembre 2016, incorpora 03 Disposiciones Complementarias Finales orientadas a mejorar las actividades asociadas al manejo, disposición final y reaprovechamiento de lodos generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales:

- Son residuos sólidos no peligrosos, salvo en los casos que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) determine lo contrario.
- El MVCS regula el reaprovechamiento de los lodos de los sistemas de tratamiento.
- El MVCS establecerá las instalaciones donde se debe realizar la Disposición Final de los lodos de los sistemas de tratamiento.

Tales condiciones son consecuentes con la regulación internacional en la materia, la cual considera que los lodos de las PTAR, que reciben, exclusiva o mayoritariamente descargas residenciales, una vez tratados, representan un mínimo riesgo para la salud y el ambiente, razón por la cual pueden ser utilizados como abono para cultivos en áreas verdes o como mejoradores de suelos, al ser ricos en nutrientes y en materia orgánica, presentar baja solubilidad en el agua protegiendo las fuentes subterráneas y mostrar baja atracción de vectores. Los lodos que cumplen tales condiciones reciben el nombre de “Biosólidos”.

Mediante el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA del 22 de junio del 2017 se aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Biosólidos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. En el presente anexo, mencionaremos algunos de los principales aspectos presentados en el mencionado reglamento:

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS DE PTARS

Los lodos de las PTARs se pueden clasificar en función de a) su procedencia y b) estado de digestión del lodo (ver la siguiente tabla).

Proceso	Procedencia - Tipo de Lodo	Estado	Descripción	Unidades del sistema de tratamiento
TRATAMIENTO PRIMARIO	Decantación Primaria - Lodo Primario	Crudo	El lodo de los tanques de decantación primaria es, generalmente, gris y grasiento y, en la mayoría de los casos, produce un olor extremadamente molesto. Puede digerirse fácilmente si se adoptan condiciones adecuadas de funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador Primario Lodos Activos
		Digerido (anaerobio)	El lodo digerido por vía anaerobia es de color marrón oscuro-negro y contiene gran cantidad de gas. Su olor no es molesto, es relativamente débil y parecido al alquitrán caliente, goma quemada o lacre.	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque Imhoff • Tanque Séptico • Biodigestor • Laguna Primaria Anaerobia • Laguna Primaria Facultativa
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Sedimentación Secundaria - Lodo Secundario	Crudo	El humus de filtros percoladores es pardusco, floculento y relativamente inodoro cuando está fresco. Generalmente, la descomposición se produce más lentamente que otros lodos crudos, pero, cuando contiene muchos gusanos, puede convertirse rápidamente en molesto. Se digiere fácilmente.	<ul style="list-style-type: none"> • Laguna de sedimentación secundaria de filtros percoladores
		Lodo Activado	El lodo activado tiene, generalmente una apariencia floculenta, de color marrón, y un característico olor a tierra que no es molesto. Sin embargo, tiende a convertirse en séptico con bastante rapidez y, luego, adquiere un olor bastante desagradable de putrefacción. Se digiere solo o con lodos primarios frescos.	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador Secundario de Lodos Activados Convencionales
		Digerido (aerobio)	El lodo digerido por vía aerobia varía de color marrón a marrón oscuro, y tiene apariencia floculenta. El olor de este tipo de lodo no es molesto y se asemeja al moho.	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador Secundario de Lodos Activados de Aireación Prolongada

Adaptado de Metcalf & Eddie.

Composición típica de los lodos según clasificación

Una de las principales características de los lodos extraídos de los procesos de tratamiento es su contenido de humedad, el cual se encuentra en el orden de 88% - 99%¹. Tal condición determina la necesidad de incorporar procesos de secado en la línea de tratamiento del lodo, a fin de reducir su volumen y permitir su adecuado manejo y disposición final. La composición típica de los lodos crudos, lodos digeridos y lodos activados se muestra a continuación (ver la siguiente tabla).

Características	Lodo Primario Crudo		Lodo Primario Digerido		Lodo Activado
	Intervalo	Valor Típico	Intervalo	Valor Típico	Intervalo
Humedad (%)	92 - 98	95	88 - 94	90	98,84 - 99,17
Sólidos Totales (ST) o Sequedad, %	2 - 8	5	6 - 12	10	0,83 - 1,16
Sólidos Volátiles (% de ST)	60 - 80	65	30 - 60	40	58 - 88
Aceites y Grasas (% de ST)					
Solubles en Éter	6 - 30	---	5 - 20	18	---
Extractable en Éter	7 - 35	---	---	---	5 - 12
Proteínas (% de ST)	20 - 30	25	15 - 20	18	32 - 41
Nitrógeno (N, % de ST)	1,5 - 4	2,5	1,6 - 6	3	2,4 - 5
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	0,8 - 2,8	1,6	1,5 - 4	2,5	2,8 - 11
Potasio (K ₂ O, % de ST)	0 - 1	0,4	0 - 3	1	0,5 - 0,7
Celulosa (% de ST)	8 - 15	10	8 - 15	10	---
Hierro (no como sulfuro)	2 - 4	2,5	3 - 8	4	---
Sílice (SiO ₂ , % de ST)	15 - 20	---	10 - 20	---	---
pH	5 - 8	6	6,5 - 7,5	7	6,5 - 8
Alcalinidad (mg/l como CaCO ₃)	500 - 1500	600	2 500 - 3 500	3 000	580 - 1 100
Ácidos orgánicos (mg/l como HAc)	200 - 2000	500	100 - 600	200	1 100 - 1 700
Poder Calorífico (MJ/kg)	23 000 - 29 000	25 500	9 000 - 13 500	11 500	18 500 - 23 000

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddie, 3era Edición.

¹ % Humedad = 100% - % Sequedad

Contenido típico de metales pesados en lodos de origen residencial

Como detallaremos más adelante, la principal condición para el aprovechamiento de los lodos es su concentración de metales pesados (la cual depende del origen de las aguas residuales: residencial, mixto o industrial), debido a que éstos no pueden ser removidos del lodo orgánico sin afectar su valor de reaprovechamiento y, en concentraciones elevadas, pueden resultar tóxicos para las plantas, los ecosistemas o el hombre. A continuación, se muestra el contenido típico de metales en el lodo de aguas residuales de origen residencial (ver la siguiente tabla).

Características	mg/Kg de Lodo Seco	
	Intervalo	Mediana
Arsénico	1,1 - 230	10
Cadmio	1 - 3.21	10
Cromo	10 - 99 000	500
Cobalto	1.3 - 2 490	30
Cobre	84 - 17 000	800
Hierro	1 000 - 154 000	17 000
Plomo	13 - 26 000	500
Manganeso	32 - 9 870	260
Mercurio	0.6 - 56	6
Molibdeno	0.1 - 214	4
Níquel	2 - 5.3	80
Selenio	1.7 - 17.2	5
Estaño	2.6 - 329	14
Zinc	101 - 49 000	1 700

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf & Eddie, 3era Edición.

2. CONDICIONES PARA EL REAPROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE PTARs

Para que los lodos de las PTARs puedan ser reaprovechados, deben cumplir las condiciones de aptitud físico-química y aptitud microbiológica para calificar como “biosólidos”, cumplir algunas condiciones de aplicación y no exceder la tasa agronómica del suelo.

Al respecto, el MVCS ha tomado como base la normativa internacional, especialmente la emitida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), que regula el uso de “Biosólidos” mediante la norma federal 40 CFR, Apartado 503, perteneciente al Código de Reglamentos Federales de los EEUU.

A continuación, revisamos las condiciones de reaprovechamiento, comparándola con las principales regulaciones de la EPA respecto al reaprovechamiento de Biosólidos en áreas verdes.

Clasificación de Biosólidos

Los biosólidos, de acuerdo a sus características, se clasifican en:

- a) Biosólidos Clase A: Biosólidos sin restricciones sanitarias para aplicación en el suelo, destinados para su reaprovechamiento como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos.
- b) Biosólidos Clase B: Biosólidos con restricciones sanitarias para aplicación según localización de los suelos y/o tipo de cultivo, destinados para su reaprovechamiento en suelos que excluyen el riesgo de contacto con la población y actividades ganaderas.

Los biosólidos con fines de reaprovechamiento en áreas verdes públicas estarían clasificados en Clase A, debiendo tenerse además una restricción de acceso al público de un periodo no menor de siete (07) días.

Aptitud Físico - Química

Para ser calificados como Biosólidos de Clase A o B, y permitir su reaprovechamiento, los lodos deberán:

- a) Estar previamente estabilizados, alcanzando concentraciones de materia orgánica (Sólidos Volátiles) \leq 60% de materia seca (Sólidos Totales). La norma norteamericana también establece la obligatoria estabilización previa de los lodos.
- b) No exceder concentraciones de metales pesados que generen riesgo de toxicidad (ver siguiente tabla):

LMP para parámetros de Toxicidad Química (mg/kg de ST Materia Seca)

Parámetro	R.M. 024-2017- VIVIENDA Clase A y B	40 CFR - 503 (EEUU)	
		Clase A	Clase B
Arsénico	40	41	75
Cadmio	40	39	85
Cromo	1200	---	---
Cobre	1500	1500	4300
Plomo	400	300	840
Mercurio	17	17	57

Parámetro	R.M. 024-2017- VIVIENDA Clase A y B	40 CFR - 503 (EEUU)	
		Clase A	Clase B
Molibdeno	---	---	75
Níquel	400	420	420
Selenio	---	100	100
Zinc	2400	2800	7500

La norma norteamericana establece LMP menos restrictivos para la clase B, de modo que la norma nacional propuesta estaría aplicando el principio precautorio. Para efectos de uso en áreas verdes, los LMP son prácticamente equivalentes.

Aptitud Microbiológica

Para ser aplicados en áreas verdes públicas como Biosólidos de Clase A, deberán cumplir los siguientes LMP de aptitud microbiológica:

Parámetros de aptitud microbiológica

Calidad	R.M. 024-2017-VIVIENDA	40 CFR - 503 (EEUU)
Bacteriológica	Escherichia coli < 1000 NMP/1 g ST, o Salmonella sp. < 1 NMP/10 g ST, o Coliformes Termotolerantes < 1000 NMP/1 g ST	Coliformes Termotolerantes < 1000 NMP/1 g ST o Salmonella Sp. < 3 NMP/4 g ST
Parasitológica	Huevos viables de Helmintos < 1 /4g ST o aprobación de los procesos de higienización por parte de la DGAA	Huevos viables de Helmintos < 1 / 1 g ST

En cuando a la calidad bacteriológica, la propuesta normativa nacional es equivalente en Coliformes Termotolerantes; sin embargo, es más exigente en Escherichia coli o Salmonella sp que la norma federal norteamericana. Mientras que, en huevos de helmintos, la propuesta normativa nacional es más exigente. Al respecto, la norma nacional propuesta estaría aplicando el principio precautorio con LMP más exigentes para Biosólidos de la Clase A, aplicable al reaprovechamiento en áreas verdes.

Condiciones para la aplicación de Biosólidos

El proyecto normativo nacional, establece que para determinar si los Biosólidos pueden ser aplicados, debe efectuarse una evaluación para cada caso particular a fin de verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- No exceder la tasa de aplicación anual de contaminante:

Tasa de Aplicación Anual de Contaminante (Kg contaminante/Ha.año)²

Parámetro	R.M. 024-2017-VIVIENDA	40 CFR - 503 (EEUU)
Arsénico	2,0	2,0
Cadmio	2,0	1,9
Cromo	75	---
Cobre	100	75
Plomo	20	15
Mercurio	1,0	0,85

² Tasa de Aplicación Anual de Contaminante (kg contaminante/Ha.año) = Concentración contaminante en el Biosólido (mg/kg ST) * Tasa de Aplicación Anual por Área (kg ST/Ha.año)

Parámetro	R.M. 024-2017-VIVIENDA	40 CFR - 503 (EEUU)
Molibdeno	---	---
Níquel	20	21
Selenio	---	5,0
Zinc	150	140

En caso el resultado excediera alguno de los valores indicados, el Biosólido no podrá ser aplicado más en la misma área de suelo. Se deberá esperar, como mínimo, 12 meses para su aplicación, debiendo presentar mejor calidad y baja concentración del contaminante o contaminantes excedidos.

- No exceder la tasa agronómica de aplicación máxima de fertilizante (nitrógeno):

$$Tasa\ Agronómica\ de\ Nitrógeno = \frac{N_{Demanda}}{N_{Oferta}}$$

Donde:

Tasa Agronómica de Nitrógeno en ton ST_{Biosólido}/Ha

N_{Demanda}: Es la necesidad de Nitrógeno por área de suelo (en kg N/Ha_{suelo})

N_{Oferta}: Es la concentración de Nitrógeno en el Biosólido a aplicar (en kg N/ton_{Biosólido})

- No se aceptará la aplicación de Biosólidos en:

- Áreas ubicadas dentro de los 300 y 500 metros de distancia de una captación de agua subterránea y agua superficial para agua potable, respectivamente
- Suelos con contenido de arena $\geq 70\%$ que se encuentren en zonas de precipitación media anual superiores a 100 mm.
- Suelos ácidos con un valor inferior a pH 5
- Suelos con pendiente $> 15\%$ y sin presencia de cobertura vegetal o con riesgo de huayco.
- Suelos con riesgo de inundación, napa freática a menos de 1 metro de profundidad y/o suelos saturados con agua la mayor parte del año.
- Suelos ubicados a menos de 15 metros de las riberas de ríos y lagos
- Suelos en áreas naturales protegidas, de uso directo o indirecto, así como Zonas Reservadas, salvo disposición expresa de las autoridades competentes

Otras condiciones

La norma técnica (OS.090) del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006) establece otras condiciones sobre la aplicación de lodos de PTARs sobre el terreno que se encuentran vigentes. Sin embargo, estas deberán revisarse en caso de aprobarse el nuevo marco normativo para reaprovechamiento de lodos, a fin de evitar contradicciones:

- Los lodos estabilizados pueden ser aplicados en estado líquido directamente sobre el terreno, siempre que se haya removido, por lo menos, 55% de sólidos volátiles suspendidos.

- Los terrenos donde se apliquen los lodos deberán estar ubicados, por lo menos, a 500 m. de la vivienda más cercana. El terreno deberá estar protegido contra la escorrentía de aguas de lluvias y no deberá tener acceso al público.
- El nivel freático deberá estar, por lo menos, a 10 m. de profundidad.
- Deberá tenerse en cuenta la concentración de metales pesados en los lodos y la compatibilidad con los niveles máximos permisibles.
- El lodo seco removido de lagunas de estabilización primarias deberá almacenarse en pilas de hasta 2 m, por un tiempo mínimo de 6 meses, previo a su uso como acondicionador de suelos. De no usarse, deberá disponerse en relleno sanitario.

3. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS DE PTARs

Cuando el volumen de lodos generado por una PTAR municipal es bajo, podría optarse por omitir una línea de tratamiento de lodos, siempre que el Estudio de Impacto Ambiental lo permita. En ese caso, éstos deberán ser extraídos de las tolvas de sedimentación de los diferentes procesos de tratamiento de las aguas residuales, utilizando vehículos especiales que cuenten con bombas de succión o vacío (rangers) que encapsulen el lodo húmedo durante su transporte hasta el lugar de disposición final. Tales vehículos deberán ser operados por Empresas Prestadoras de Servicios de transporte de Residuos Sólidos (EPS-RS), autorizadas por DIGESA.

Para la disposición final, las EPS-RS pueden optar por dos alternativas: i) disposición en relleno sanitario; o ii) entrega a una PTAR, de mayor capacidad, administrada por SEDAPAL para el caso de Lima

Metropolitana, que incluya procesos de tratamiento que produzcan lodos estabilizados (digeridos) o que cuente con una línea de tratamiento de los lodos con suficiente capacidad disponible.

El tratamiento de los lodos de las PTAR tiene tres objetivos principales:

- a) Estabilizar los lodos, a fin de reducir la concentración de microorganismos patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción
- b) Reducir el volumen de lodos, para mejorar su manejabilidad y reducir costos de transporte y disposición final, de ser el caso
- c) Garantizar la calidad microbiológica del lodo para su reaprovechamiento: higienización del lodo.

3.1 Tratamientos para estabilización de lodos

Algunos sistemas de tratamiento de aguas residuales cumplen con el objetivo de estabilizar (digerir) los lodos generados como parte del proceso. Los procesos de tratamiento de aguas residuales que cumplen con esta condición son:

- Procesos de tratamiento de aguas residuales que permitan la permanencia de lodo por varios años: Lagunas facultativas, Lagunas anaerobias, aireadas y Wetlands de macrofitas (fitodepuración)
- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia del lodo en ambiente aeróbico:

- Lodos Activados por Aireación Extendida (Prolongada) o Filtro Percolador con recirculación del efluente

- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia del lodo en ambiente anaerobio: Tanques Imhoff, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) o Lagunas Anaerobias

- Para los demás casos, se requerirá incorporar una línea de tratamiento de lodos que incluya procesos de estabilización, tales como:

- Procesos de digestión de lodos: **Digestor Anaerobio, Digestor Aerobio o Compostaje**

- Otros procesos aprobados por la Autoridad Sanitaria.

A continuación, describimos cada uno de los procesos de estabilización de lodos separados de la línea de tratamiento de aguas residuales:

A. DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS



Descripción	<p>La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. En este proceso, la materia orgánica contenida en los lodos se convierte, biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH₄) y en dióxido de carbono (CO₂). El lodo estabilizado de esta manera tiene bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos.</p> <p>Los digestores anaeróbicos pueden ser de carga baja o alta. En los primeros, el lodo se retiene por periodos de 30 a 60 días, mientras que, en los segundos, se incorpora recirculación de gases y mezcla de lodos para reducir el periodo de retención de 15 a 20 días y, cuando se incorpora calentamiento, a menos de 15 días (Digestión Termofílica).</p>	
Ventajas	<p>Requiere bajo o nulo consumo de energía eléctrica.</p> <p>Por tratarse de un sistema herméticamente cerrado, puede usarse en zonas inundables.</p> <p>Requiere poco espacio para su implementación.</p> <p>Genera gas metano que puede utilizarse para generar calor o energía (cogeneración).</p> <p>Se obtiene biól como subproducto, que es un líquido empleado como fertilizante foliar.</p>	
Desventajas	<p>El costo de inversión es relativamente alto.</p> <p>Los procesos para llevar a cabo la digestión requieren de periodos relativamente largos (15 – 60 días).</p> <p>Necesita temperaturas exteriores por encima de los 10°C.</p>	<p>Figura 2. Digestor y gasómetro</p>

Figura 1 disponible en: <http://ein-weg-ist-ein-weg.de/wordpress/?p=2308> (Consulta: marzo 2017)

Figura 2 disponible en: <http://www.pesa-ma.com/index.php/es/component/vpportfolio/item/109> (Consulta: marzo 2017)

B. DIGESTIÓN AEROBIA DE LODOS

Descripción	<p>La digestión aerobia es un proceso utilizado principalmente en las plantas de Lodos activados, debido a que requiere de un equipamiento similar de inyección de aire. En este proceso, la materia contenida en los lodos se convierte, biológicamente, bajo condiciones aerobias, en dióxido de carbono (CO₂), en agua (H₂O) y en amoníaco (NH₃).</p> <p>Los digestores aerobios convencionales tienen periodos de retención de 10 a 20 días; sin embargo, si se añade calentamiento, se pueden lograr periodos de 3 o 4 días con rendimiento de eliminación de sólidos volátiles de hasta 70%.</p>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra reducción de sólidos volátiles, en la misma proporción que en la digestión anaerobia. • Muestra buena reducción de carga microbiológica en el lodo digerido.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • El costo de inversión es relativamente alto. • Genera elevado costo de operación por consumo energético. • Las bajas temperaturas afectan su rendimiento. • Requiere mayor control operativo por la aparición de espumas. • Genera ruido debido al equipamiento (blowers). • Presenta incidencia sanitaria por formación de aerosoles. • Presenta dificultad para la deshidratación mecánica debido a la aparición de bacterias filamentosas.



Figura 3. Digestor aerobio de lodos

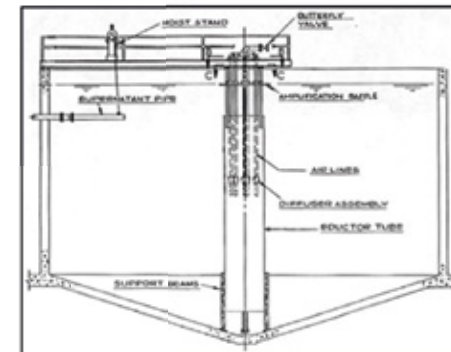


Figura 4. Esquema de digestor aerobio

Figura 3 disponible en : <http://www.ovivowater.com/solution/municipal/municipal-wastewater/sludge-treatment-aerobic-digestion/> (Consulta: marzo 2017)

Figura 4 disponible en : http://www.walker-process.com/prod_digestion_rollaer.htm (Consulta: marzo 2017)

C. COMPOSTAJE



Descripción	<p>El compostaje es un proceso aeróbico que implica mezclar los sólidos de las aguas residuales (lodo seco o húmedo) con fuentes de carbón, tales como aserrín, paja o virutas de madera, logrando temperaturas de 55 °C, donde los microorganismos crecen para digerir los sólidos volátiles reduciendo su contenido al grado de estabilización, generando luego el decaimiento de los microorganismos por respiración endógena.</p>	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Es un proceso aireado, por lo que no genera malos olores.• Requiere relativamente poco espacio para su manejo.• En ambientes calurosos, el proceso de digestión es más rápido.	<p>Figura 5. Rumas de compostaje de lodos</p>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• En zonas de muy baja temperatura, el proceso requerirá de mayor tiempo para descomponer la materia orgánica.• Si el proceso está mal dirigido, puede generar olores desagradables.• Si el líquido resultante no es recepcionado, puede contaminar el ambiente.	 <p>Figura 6. Plataforma de compostaje</p>

Figura 5 disponible en : <http://www.larioja.org/consorcio-aguas/es/depuracion/gestion-lodos/compostaje/plantas-compostaje> (Consulta: marzo 2017)

Figura 6 disponible en : <http://www.larioja.org/consorcio-aguas/es/depuracion/gestion-lodos/compostaje/plantas-compostaje> (Consulta: marzo 2017)

3.2 Tratamiento para reducir volumen de lodos

Se trata de procesos que buscan el espesamiento o deshidratación del lodo hasta alcanzar un porcentaje de humedad de 50%. Los sistemas de tratamiento más empleados están conformados por decantadores de gravedad, centrifugas y filtros prensa:

A. ESPESADO POR GRAVEDAD

El espesado por gravedad resulta más efectivo en el tratamiento del lodo primario. Se lleva a cabo en un tanque de diseño similar al de un tanque de sedimentación convencional, generalmente circular o rectangular, llamado espesador de gravedad.



Figura 7. Espesador de lodos



Figura 8. Vista interior de espesador

Figura 7 disponible en : http://www.gphs.ufpa.br/index.php?option=com_content&view=article&id=123 (Consulta: marzo 2017)

Figura 8 disponible en : <http://www.tecpa.es/la-deshidratacion-de-fangos/> (Consulta: marzo 2017)

B. DESHIDRATADO POR CENTRIFUGACIÓN

Se utiliza, tanto para espesar lodos, como para deshidratarlos (logra reducir la humedad hasta alcanzar 25% - 35% de Sólidos Totales). Debido a su alta tasa de deshidratación, es usado principalmente en las PTAR que generan mayor cantidad de lodos, como los sistemas de Lodos Activados. Se utiliza un decantador cilíndrico que gira a gran velocidad.



Figura 9. Centrifuga de lodos

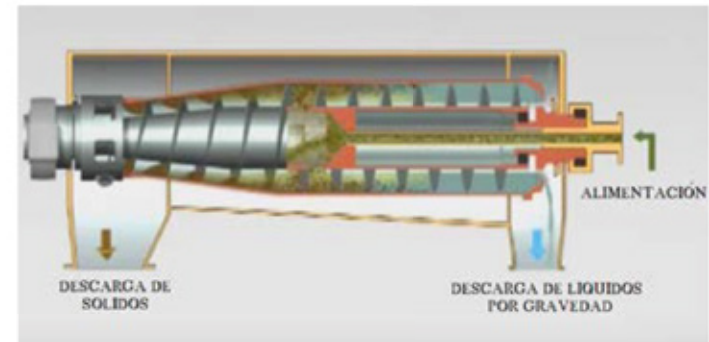


Figura 10. Esquema de centrifuga

Figura 9 disponible en : http://www.gphs.ufpa.br/index.php?option=com_content&view=article&id=123 (Consulta: marzo 2017)

Figura 10 disponible en : <http://www.tecpa.es/la-deshidratacion-de-fangos/> (Consulta: marzo 2017)

C. DESHIDRATADO POR FILTRACIÓN

Se utiliza para deshidratar lodos mediante el uso de filtros prensa, los cuales ejercen presión al lodo contra filtros de membrana que retienen los sólidos y liberan el agua. Este proceso implica la concentración de las partículas de lodo bajo presión (100 psi), logrando reducir la humedad hasta alcanzar 30%- 35% de Sólidos Totales.



Figura 11. Filtro Prensa de Sistema de Tratamiento de Lodos

Figura 11: Foto tomada del filtro prensa de la PTAR Maria Reiche de Miraflores, Lima.

3.3 Tratamiento para higienizar el lodo

Sin bien los procesos de estabilización de lodo permiten la reducción de microorganismos patógenos, debido a la relación existente entre el contenido de sustrato (materia orgánica) y la concentración de microorganismos, ello no necesariamente garantiza el cumplimiento de los LMP para Biosólidos de Clase A para reaprovechamiento en áreas verdes públicas.

En tal sentido, deberá complementarse el tratamiento de estabilización con procesos de higienización, tales como: compostaje térmico, secado térmico o solar, digestión anaeróbica termofílica, tratamiento alcalino o cualquier otro proceso equivalente aprobado por el MVCS.

A. Compostaje térmico: método de compostaje en pilas estáticas aireadas y volteadas para mantener una temperatura de 55°C o más por un periodo mínimo de 14 días. Este método, además permite la estabilización del lodo, como se mencionó anteriormente.

B. Secado térmico: contacto directo o indirecto de lodo con gases a mayor temperatura o energía solar para reducir la humedad a un 10% como máximo (> 90% materia seca). La energía para incrementar la temperatura de los gases proviene parcialmente del potencial calórico de los lodos

C. Digestión Anaerobia Termofílica: método que, además de permitir la estabilización del lodo, como se mencionó en el acápite 3.1, facilita la higienización del lodo. Los valores del tiempo de residencia medio y temperatura serán de 20 días en temperaturas de 50° C como mínimo.

D. Tratamiento alcalino: acondicionamiento con cal para que el pH se mantenga a un nivel > 12 por un periodo no inferior a 72 horas. Adicionalmente, el lodo deberá secarse hasta obtener un contenido de sólidos totales de 50% como mínimo.

La tabla que sigue presenta en cuánto se reducen los microorganismos en algunos de los sistemas de tratamientos mencionados, resaltando el compostaje térmico por su alta efectividad y su bajo costo relativo.

Reducción de microorganismos de diferentes procesos de tratamiento de lodos (reducción de unidades logarítmicas)

Proceso de Tratamiento	Bacterias	Virus	Parásitos (protozoos y helmintos)
Digestión anaerobia de lodos	0,5 - 4,0	0,5 - 2,0	0,5
Digestión aerobia de lodos	0,5 - 4,0	0,5 - 2,0	0,5
Compostaje Térmico	2,0 - 4,0	2,0 - 4,0	2,0 - 4,0
Tratamiento Alcalino	< 9,5	4,0	2
Secado al aire	0,5 - 4,0	0,5 - 2,0	0,5 - 4,0

Fuente: Barber 2001, Jiménez et al.,2000

Por lo expuesto, una excelente línea de tratamiento de lodos para fines de reaprovechamiento será aquella cuyos lodos provengan de un sistema de tratamiento de aireación prolongada, seguida por un espesador, luego un deshidratador y, finalmente, un compostaje térmico, a fin de garantizar el cumplimiento de los LMP para Biosólidos de Clase A con fines de reaprovechamiento en áreas verdes públicas.

Anexo 04. Datos Útiles para la Estructuración Financiera en una APP

A continuación, te brindamos algunos datos útiles para realizar una primera aproximación a la estructuración financiera de un proyecto de APP para una PTAR destinada al riego de áreas verdes.

- **Ratio Deuda/Capital:** debido a que el costo del capital propio resulta mayor al costo de la deuda, si se logran tasas para inversiones de bajo riesgo, el privado tenderá a estructurar el financiamiento con el 100% de deuda. Sin embargo, a fin de que el riesgo residual del proyecto sea compartido entre el concesionario y los inversionistas, se deberá procurar un nivel mínimo de capital, en el orden de 10% para este tipo de proyectos. En ese sentido, la relación capital/deuda se aproximará a 1/9.

- **Tasa de capital propio (k_e):** esta tasa se obtiene a partir de experiencias ya ejecutadas a nivel nacional e internacional, encontrándose valores en el orden de 13% y 15%.

- **Tasa de deuda (k_d):** el concesionario buscará acceder a las fuentes de financiamiento de inversiones de bajo riesgo, lo cual será viable en la medida que el contrato de concesión contenga aspectos claves como:

- un fideicomiso de recaudación y
- ingresos mínimos garantizados.

Los instrumentos financieros emitidos para financiar este tipo de inversiones de bajo riesgo, tienen una tasa que, normalmente, se determina a partir de la tasa del Bono Soberano Peruano más un Spread. Si el instrumento está indexado a la inflación, tal como los Bonos VAC, la tasa será menor. Adjuntamos algunos ejemplos a modo de referencia:

Tasa de deuda promedio de diversos instrumentos financieros

Instrumento	Plazo	Bono Soberano	Spread	Tasa Cupón
Bono USD	15 años	4.94%	4.37%	9.31%
Bono S/ VAC	20 años	2.89%	2.62%	5.51%
Bono S/	23 años	6.61%	1.87%	8.48%

Fuente: Promedio de tasas de deuda de diferentes proyectos adjudicados vía APP entre el 2010 y el 2015.

Bajo estas consideraciones, se obtendrá el Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC), al cual se descontará los flujos para realizar la estructuración financiera, a partir de cuyo VAN=0 se obtendrá el valor de la Retribución al Concesionario. Dicho parámetro se convertirá en el factor de competencia del concurso y el valor obtenido se convertirá en el valor referencial.



Con el apoyo de:



Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

ISBN: 978-612-4273-23-0



9 786124 273230