



**University of Stuttgart**  
Germany



[www.lima-water.de](http://www.lima-water.de)

# **ESTUDIO DE OPCIONES DE TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA METROPOLITANA**

**Ing. Julio César Moscoso Cavallini**

**Consultor Externo en Aguas Residuales Domésticas**

FOMENTADO POR EL



Ministerio Federal  
de Educación e  
Investigación  
(BMBF)

**Lima – 2011**

## INDICE

	Pág.
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	4
<b>2. METODO DEL ESTUDIO</b> .....	5
2.1. Levantamiento de información .....	5
2.2. Trabajo de gabinete .....	6
<b>3. FUENTES DE INFORMACIÓN</b> .....	7
3.1. Instituciones .....	7
3.2. Estudios, publicaciones y páginas electrónicas .....	7
<b>4. AMBITO DEL ESTUDIO</b> .....	9
<b>5. EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA</b> .....	12
5.1. Cobertura de tratamiento .....	12
5.2. Capacidad de tratamiento de las plantas .....	13
5.3. Tipo de tecnología y niveles de tratamiento .....	14
5.4. Tamaño de las plantas de tratamiento según la tecnología .....	16
5.5. Eficiencia del tratamiento y calidad sanitaria actual de las aguas de las plantas de Lima .....	17
5.6. Operadores .....	19
5.7. Conocimiento tecnológico de SEDAPAL .....	20
5.8. Iniciativas privadas y municipales .....	21
5.9. Proyectos en ejecución por Sedapal .....	23
5.10. Otras iniciativas .....	24
<b>6. COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TÍPICAS DE LIMA</b> .....	25
6.1 Costos de inversión .....	25
6.2. Costos de tratamiento estimados por el Proyecto SWITCH Lima .....	28
6.3. Costos de tratamiento estimados por Sedapal para sus plantas .....	30
<b>7. DIRECTRICES DE DISEÑO PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO</b> .....	32
7.1. Tanques Imhoff .....	34
7.2. Tanques de sedimentación .....	34
7.3. Lagunas de estabilización .....	35
7.4. Lodos activados .....	37
7.5. Filtros percoladores .....	39
7.6. Sistemas biológicos rotativos de contacto .....	40

7.7. Aplicación sobre el terreno y reuso agrícola .....	41
7.8. Filtros intermitentes de arena .....	41
7.9. Tratamientos anaeróbicos de flujo ascendente .....	42
7.10. Desinfección .....	42
7.11. Tratamiento terciario .....	43
7.12. Tratamiento de lodos .....	43
<b>8. ÁREAS VERDES DE LIMA</b> .....	<b>45</b>
8.1. Las áreas agrícolas urbanas .....	45
8.2. Las áreas verdes públicas .....	48
8.3. Las áreas verdes privadas .....	54
8.4. Proyectos Especiales de Áreas verdes Metropolitanas .....	54
8.5. Consolidado de áreas verdes actuales y potenciales de Lima .....	57
8.6. Acceso actual a la demanda de agua para riego .....	57
8.7. Costos del agua para riego .....	60
8.8. Infraestructura de riego actual .....	62
8.9. Planes de abastecimiento de agua para riego de áreas verdes .....	63
<b>9. REUSO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO EN LIMA</b> .....	<b>65</b>
9.1. Reuso actual en agricultura y áreas verdes .....	65
9.2. Ahorro por el uso del agua residual tratada .....	67
9.3. Aceptación del reuso .....	69
9.4. Reuso potencial de aguas residuales para el riego .....	69
9.5. Planes de reuso para abastecer las áreas verdes .....	71
9.6. Menores obligaciones para Sedapal y los usuarios .....	75
<b>10. REGULACION LEGAL RELEVANTE PARA EL TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	<b>76</b>
10.1. Competencias .....	76
10.2. Autorizaciones para vertimiento y reuso de aguas residuales .....	76
10.3. Políticas públicas que promueven el tratamiento y reuso .....	79
<b>11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>12. SUSTENTACIÓN DEL DESCRIPTOR K</b> .....	<b>84</b>
12.1. Resumen de la situación actual .....	84
12.2. Proyección de escenarios al 2040 .....	85
<b>13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>89</b>

# ESTUDIO DE OPCIONES DE TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA METROPOLITANA

El presente estudio se realiza como producto de la Consultoría Técnica acordada entre el suscrito y la Universidad de Stuttgart para evaluar las opciones de tratamiento y uso de las aguas residuales en Lima Metropolitana, que brinden el soporte necesario al Proyecto “Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros de crecimiento urbano afrontando al cambio climático” - Lima Water – LIWA.

## 1. OBJETIVOS

El propósito del presente estudio es aportar ideas específicas al Proyecto LIWA, especialmente en los paquetes de trabajo “2 Desarrollo de un Escenario Integrado” y “4 Macro modelación y simulación”, en el área temática del tratamiento de las aguas residuales y reuso de las aguas residuales tratadas.

El objetivo del **paquete de trabajo 2** es definir escenarios para el sector agua en Lima. Los escenarios incluyen cambios respecto al tratamiento y reuso de las aguas residuales.

- **Primer paso:** definir posibles sub escenarios del tratamiento y uso de las aguas residuales en Lima Metropolitana para el año 2040. Estos escenarios no solo deben describir las metas de aprovechamiento local del agua, sino que deben incluir los escenarios realistas optimista y pesimista que pueden suceder en el futuro con el tratamiento de las aguas residuales (porcentaje del tratamiento) y su reuso (porcentaje reciclado para irrigación).
- **Segundo paso:** elaborar una matriz de impactos cruzada, interconectando diferentes variables, hecha por un fallo experto que defina el nivel de las relaciones entre estas variables. En el caso del tratamiento, por ejemplo la influencia del gobierno, población, déficit de agua, etc. sobre diferentes niveles de tratamiento y reuso que son evaluados.

El objetivo del **paquete de trabajo 4** es desarrollar una macro modelación y simulación (LiWatool) para simular el sistema de agua y desagües de Lima Metropolitana, que incluya:

- Identificar los diferentes tipos y tamaños de plantas de tratamiento de aguas residuales. El simulador puede ser utilizado para evaluación de los logros de metas específicas, tales como criterios dependientes tales como inversión, costos operativos. Eficiencia, etc.
- Establecer formulas de diseño, eficiencia de remoción, costos de inversión, operación y mantenimiento para definir módulos de información de plantas de tratamiento.

## 2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

El estudio se ha realizado mediante la compilación de información secundaria obtenida de las instituciones locales involucradas con el tratamiento y reuso de las aguas residuales en Lima. Contempla dos etapas: el levantamiento de información y el trabajo de gabinete.

### 2.1. Levantamiento de información

- Sobre el tratamiento de aguas residuales en Lima:
  - Cobertura de tratamiento (% de agua residuales generada).
  - Capacidad de tratamiento de las plantas.
  - Tipo de tecnología y niveles de tratamiento (primario, secundario y terciario).
  - Tamaño de las plantas de tratamiento (según tecnología).
  - Eficiencia del tratamiento y calidad sanitaria actual de las aguas de las plantas
  - Operadores: Sedapal, Municipios, privados.
  - Conocimiento tecnológico de Sedapal.
  - Iniciativas privadas y municipales.
  - Proyectos en ejecución: Taboada, La Chira, otros.
- Sobre costos de inversión, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales típicas, en función a:
  - Tipo de tecnología de tratamiento, incluyendo plantas compactas municipales.
  - Diferentes tamaños (con estimación cruda de suficiencia).
- Sobre directrices de diseño para las plantas de tratamiento de Lima, en función a tamaños (caudal), eficiencia s en remoción de DBO y coliformes fecales y para los siguientes tipos:
  - Lagunas.
  - Lagunas aireadas.
  - Lagunas facultativas.
  - Plantas compactas municipales.
- Sobre las áreas verdes de Lima:
  - Agricultura y parques existentes y potenciales.
  - Acceso actual y futura a la demanda de agua para irrigación.
  - Costo del agua para riego.
  - Infraestructura actual y proyectada.
  - Planes de abastecimiento para el riego de áreas verdes.
- Sobre el reuso para riego en Lima:
  - Reuso actual en agricultura y áreas verdes.
  - Aceptación del reuso.
  - Reuso potencial de aguas residuales para el riego.
  - Menores obligaciones para Sedapal y los usuarios.
  - Planes de reuso para abastecer las áreas verdes.
- Sobre regulaciones relevantes para el tratamiento y el reuso:
  - Normas vigentes y propuestas.

- Regulaciones sobre la calidad de los efluentes tratados.
- Regulaciones sobre la eficiencia de tratamiento para los diferentes usos.
- Políticas públicas que impulsen el tratamiento y reuso: Lineamientos MVCS, plan del Comité Multisectorial.
- Gestión de las cuencas hidrográficas de Lima, que impulsen el uso eficiente del agua.
- Tarifa de agua que incluya el tratamiento.

## 2.2. Trabajo de gabinete

- Definición de escenarios de tratamiento y reuso para 2040: A,B o C
- Definición de los **factores de influencia** para que los escenarios ocurran:
  - Factores Políticos:
    - Forma de gobierno.
    - Modelo de gestión de cuencas.
    - Modelo de gestión de la empresa de agua y saneamiento.
    - Modelo de desarrollo urbano.
  - Factores sociales:
    - Crecimiento demográfico.
    - Pobreza urbana.
    - Consumo de agua per cápita.
  - Factores económicos:
    - Tarifas de agua.
  - Factores de gestión:
    - Perdidas de agua en la red.
    - Cobertura de agua con la red pública.
    - Disponibilidad de fuentes de agua por infraestructura.
  - Factores ambientales
    - Cambio climático: caudal de agua y riesgo.
- Evaluación de interdependencias entre las variables políticas y socio-económicas en los escenarios de tratamiento y reuso de las aguas residuales.

### 3. FUENTES DE INFORMACIÓN

La información utilizada para el presente informe ha sido recopilada de los archivos, estudios, publicaciones y páginas electrónicas de diferentes instituciones públicas y privadas.

#### 3.1 Instituciones

- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INAI.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – SEDAPAL.
- Municipalidad de Lima Metropolitana – MML.
- Instituto Metropolitano de Planificación – IMP.
- Servicio de Parques – SERPAR.
- Autoridad Nacional del Agua - ANA.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – MVCS.
- Ministerio del Ambiente – MINAM.
- IPES – Promoción del Desarrollo Sostenible.
- Junta de Usuarios del Sub distrito de Riego Rímac – JUR.
- Junta de Usuarios del Sub distrito de Riego Lurín.
- Junta de Usuarios del Sub distrito de Riego de Chillón.
- Comisión de Regantes del Sub sector de Riego Surco.

#### 3.2 Estudios, publicaciones y páginas electrónicas

- Panorama de las experiencias de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana y Callao. 2008. IPES - Promoción para el Desarrollo Sostenible, Fundación RUAF y Proyecto Global SWITCH.
- Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. 2008. SUNASS.
- Informe Técnico “Asesoría para la Evaluación de Costos de Inversión y Operación y Mantenimiento de la Iniciativa Privada Operación y mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de las 18 plantas de tratamiento de Aguas Residuales de Sedapal. Sedapal. Lima. 992 pp. 2009. Consultoría a Sedapal.
- Estudios de Caso de Experiencias de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en la Ciudad de Lima, Perú. 2009. IPES - Promoción para el Desarrollo Sostenible, Fundación RUAF y Proyecto Global SWITCH.
- Declaración de interés de la iniciativa privada "operación, mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de plantas de tratamiento de agua residual de sedapal" presentada por proactiva medio ambiente s.a. Agencia de Promoción de la Inversión Privada – Perú (ProInversión), 2011
- Plantas de tratamiento de Aguas Residuales de Sedapal. 2011. <http://www.sedapal.com.pe/tratamiento-de-aguas-residuales>
- Megaproyectos de Sedapal para tratar las aguas residuales de Lima. 2011. [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=8868be88-25b5-4745-aa72-35777c779fd0&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=8868be88-25b5-4745-aa72-35777c779fd0&groupId=10154)

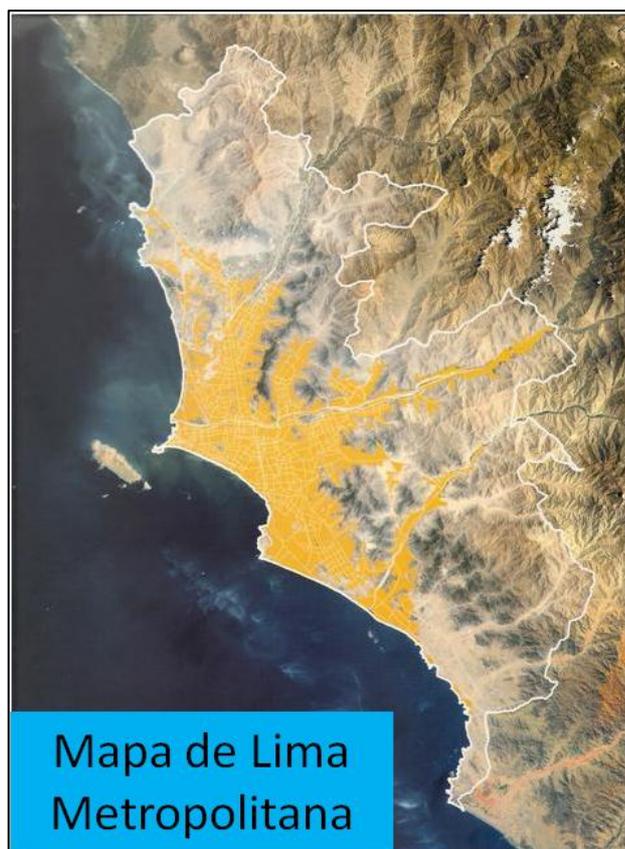
- Norma de Saneamiento S.090 para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Reglamento Nacional de Construcciones, Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, 1997.
- Atlas Ambiental de Lima 2008. Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima. 2008.
- Inventario de Áreas Verdes a nivel Metropolitano. Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima. 2010.
- Censos Nacionales 2007: XI de Población y Vide Vivienda. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://www.inei.gob.pe>
- Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Rímac, 2010.
- Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Lurín, 2010.
- Padrón de Uso Agrícola de la Juntas de Usuarios del ríoChillón, 2010.
- Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Surco, 2010.
- Reporte Situacional de Abastecimiento de Agua Potable a la ciudad de Lima. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2004.
- Resolución 034-2006-SUNASS que aprueba Formula Tarifaria de Sedapal, 2006.
- Ley Nº 29338 Ley de Recursos Hídricos, promulgada el 23 de marzo de 2009.
- Decreto Supremo No. 002-2008-MINAM, del 31 de julio de 2008.
- Resolución Jefatural No. 0291-2009 ANA, del 1 de junio de 2009.

#### 4. AMBITO DEL ESTUDIO

El ámbito del estudio se concentra en el tratamiento de las aguas domésticas y el reuso de esta agua tratadas en el riego de áreas verdes urbanas y agricultura periurbana de la ciudad de Lima Metropolitana, que comprende la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

Lima Metropolitana es la capital del Perú y se encuentra en el desierto costero del Perú, sobre la falda de la vertiente occidental de los Andes centrales. Aunque fue inicialmente fundada sobre el valle del río Rímac, hoy se extiende sobre extensas zonas desérticas y llega hasta los valles del Chillón al norte y Lurín al Sur. Mientras que la plaza de armas se ubica a una altitud de 161 msnm, el distrito de Lurigancho-Chosica llega a los 950 msnm. Lima bordea el litoral, desde el km 50 de la Carretera Panamericana Norte a la altura del distrito de Ancón que limita con la Provincia de Huaral, hasta el km 70 de la Carretera Panamericana Sur en el distrito de Pucusana que limita con la Provincia de Cañete, abarcando así una extensión de poco más de 110 km. de costa. Hacia el este se extiende hasta aproximadamente el km. 50 de la Carretera Central en el distrito de Lurigancho-Chosica, límite con la provincia de Huarochirí. En la figura 1 se muestra un mapa de Lima Metropolitana.

**Figura 1. Mapa de Lima Metropolitana**



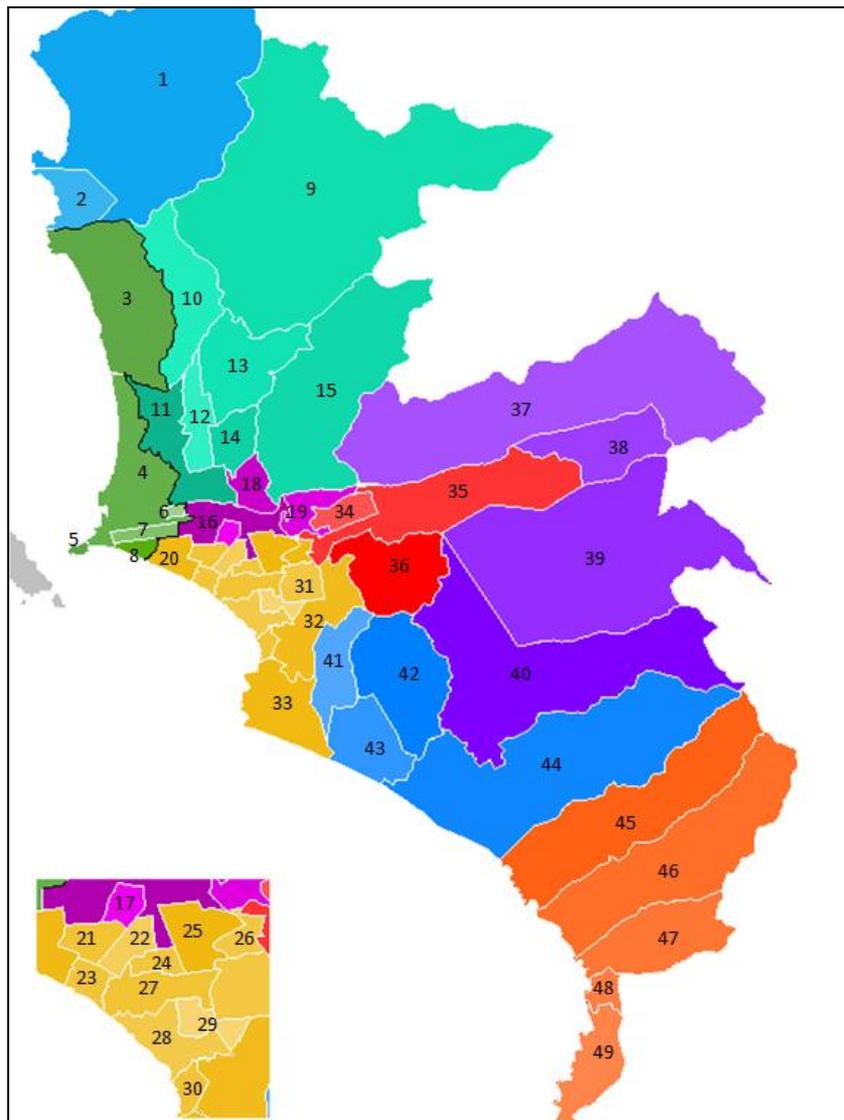
*Fuente: Atlas Ambiental de Lima, 2008.*

Lima Metropolitana une las provincias de Lima y Callao, que actualmente mantienen una trama urbana totalmente integrada, por lo que solo están separadas administrativamente. Es así que incluye 49 distritos, 43 de ellos pertenecientes a la Provincia de Lima y 6 de la Provincia Constitucional del Callao. El cuadro 1 y la figura 2 muestran el Mapa de Lima Metropolitana.

**Cuadro 1. Distritos, extensión y población de Lima Metropolitana (INEI, 2011)**

No.	Distrito	Superficie	Población	Densidad
		(km <sup>2</sup> )	2007	(hab/km <sup>2</sup> )
<b>Provincia del Callao</b>		<b>129.35</b>	<b>876,877</b>	<b>6,779</b>
3	Ventanilla	73.52	277,895	3,780
4	Callao	45.65	415,888	9,110
5	La Punta	0.75	4,370	5,827
6	Carmen de la Legua	2.12	41,863	19,747
7	Bellavista	4.56	75,163	16,483
8	La Perla	2.75	61,698	22,436
<b>Provincia de Lima</b>		<b>2,672.28</b>	<b>7,605,742</b>	<b>2,846</b>
<b>Cono Norte</b>		<b>857.25</b>	<b>2,083,583</b>	<b>2,431</b>
1	Ancón	299.22	33,367	112
2	Santa Rosa	21.50	10,903	507
9	Carabayllo	346.88	213,386	615
10	Puente Piedra	71.18	233,602	3,282
11	Los Olivos	18.25	318,140	17,432
12	Comas	48.75	486,977	9,989
13	Independencia	14.56	207,647	14,261
14	San Martín de Porras	36.91	579,561	15,702
<b>Centro</b>		<b>147.83</b>	<b>1,841,357</b>	<b>12,456</b>
16	Cercado de Lima	21.98	299,493	13,626
17	Breña	3.22	81,909	25,438
18	Rimac	11.87	176,169	14,842
20	San Miguel	10.72	129,107	12,044
21	Pueblo Libre	4.38	74,164	16,932
22	Jesús María	4.57	66,171	14,479
23	Magdalena del Mar	3.61	50,764	14,062
24	Lince	3.03	55,242	18,232
25	La Victoria	8.74	192,724	22,051
26	San Luis	3.49	54,634	15,654
27	San Isidro	11.10	58,056	5,230
28	Miraflores	9.62	85,065	8,843
29	Surquillo	3.46	89,283	25,804
30	Barranco	3.33	33,903	10,181
31	San Borja	9.96	105,076	10,550
32	Santiago de Surco	34.75	289,597	8,334
<b>Cono Este</b>		<b>814.25</b>	<b>2,111,289</b>	<b>2,593</b>
15	San Juan de Lurigancho	131.25	898,443	6,845
19	El Agustino	12.54	180,262	14,375
34	Santa Anita	10.69	184,614	17,270
35	Ate	77.72	478,278	6,154
36	La Molina	65.75	132,498	2,015
37	Lurigancho-Chosica	236.47	169,359	716
38	Chaclacayo	39.50	41,110	1,041
39	Cieneguilla	240.33	26,725	111
<b>Cono Sur</b>		<b>852.95</b>	<b>1,569,513</b>	<b>1,840</b>
33	Chorrillos	38.94	286,977	7,370
40	Lurín	181.12	62,940	348
41	San Juan de Miraflores	23.98	362,643	15,123
42	Villa María del Triunfo	70.57	378,470	5,363
43	Villa El Salvador	35.46	381,790	10,767
44	Pachacámac	160.23	68,441	427
45	San Bartolo	45.01	6,412	142
46	Punta Hermosa	119.50	5,762	48
47	Punta Negra	130.50	5,284	40
48	Santa María del Mar	9.81	161	16
49	Pucusana	37.83	10,633	281
<b>TOTAL LIMA METROPOLITANA</b>		<b>2,801.63</b>	<b>8,482,619</b>	<b>3,028</b>

**Figura 2. Mapa de los Distritos de Lima Metropolitana**



*Fuente: Enciclopedia Libre Wikipedia, 2011*

El cuadro 1 muestra la extensión y población censada el 2007 para los 49 distritos que conforman Lima Metropolitana, y que uniendo las Provincias de Lima y el Callao conforman una superficie de 2,800 km<sup>2</sup> en donde viven 8.5 millones de habitantes, lo que implica una densidad poblacional mayor a 3,000 habitantes por kilómetro cuadrado.

Igualmente se puede observar que los 43 distritos de la Provincia de Lima se distribuyen en cuatro grupos: el centro consolidado y los conos Norte, Este y Sur. Allí se puede apreciar que los distritos del Centro Consolidado alcanzan una densidad poblacional de 12,456 hab/km<sup>2</sup>, seguidos por los de la Provincia del Callao con 6,779 hab/km<sup>2</sup>, por tratarse de las zonas más antiguas de la ciudad. Los conos Norte y Este mantienen una densidad poblacional alrededor de 2,500 hab/km<sup>2</sup>, mientras que el Cono Sur solo llega a 1,800 hab/km<sup>2</sup> por ser la zona más nueva ubicada en un extenso desierto. El distrito con la mayor densidad poblacional de más de 25,000 hab/km<sup>2</sup> es Breña, mientras que Santa María del Mar solo tiene 16 hab/km<sup>2</sup>. En general los distritos balnearios como Ancón, Santa Rosa, San Bartolo, Punta Hermosa, Punta Negra, Santa María y Pucusana tienen una baja densidad poblacional (menor a 500 hab/km<sup>2</sup>).

## 5. EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA

### 5.1. Cobertura de tratamiento

Lima Metropolitana actualmente cuenta con 41 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que tratan todas ellas los desagües domésticos recolectados por Sedapal. El cuadro 2 muestra la lista de estas plantas, pero no incluye plantas de tratamiento existentes en algunas industrias de la ciudad, debido a que esta información no está disponible. Es probable también que existan algunas otras plantas municipales o privadas que no se han incluido por desconocimiento.

**Cuadro 2. Relación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Lima Metropolitana**

No.	Nombre	Ubicación (distrito)	Operador	Tecnología	Caudal (l/s)	
					Diseño	Actual
<b>Zona Norte</b>					<b>870.90</b>	<b>1,010.90</b>
1	Ancón	Ancón	Sedapal	Lagunas facultativas	20.00	44.00
2	Jerusalem	Ancón	Ministerio de Defensa	Lagunas facultativas	70.00	15.00
3	Piedras Gordas	Ancón	Ministerio de Defensa	Lagunas facultativas	30.00	18.00
4	Club La Unión	Santa Rosa	Sedapal	Filtros percoladores	18.00	12.00
5	Ventanilla	Ventanilla	Sedapal	Lagunas anaerobicas y facultativas	250.00	366.00
6	El Mirador	Ventanilla	Municipalidad Distrital de Ventanilla	Humedales artificiales	3.50	3.50
7	Puente Piedra	San Martín de Porres	Sedapal	Lodos activados - CSBR-3	422.00	496.00
8	Callao	Callao	Municipalidad Provincial del Callao	Lodos activados - AGAR	13.90	13.90
9	Avenida Universitaria	Carabayllo	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lodos activados	4.00	3.00
10	Manco Capac	Carabayllo	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	3.00	3.00
11	Sinchi Roca	Comas	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	25.00	25.00
12	Yoque Yupanqui	Los Olivos	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	4.00	4.00
13	UNITRAR	Rimac	Universidad Nacional de Ingeniería	Reactor anaeróbico y lagunas facultativas	7.50	7.50
<b>Zona Este</b>					<b>623.00</b>	<b>564.20</b>
14	Nueva Sede-Atarjea	El Agustino	Sedapal	Lodos activados - aireación prolongada -compacta	1.00	1.00
15	San Antonio Carapongo	Lurigancho-Chosica	Sedapal	Lodos activados - aireación extendida	22.00	22.20
16	Carapongo	Áte- Vitarte	Sedapal	Lagunas anaeróbicas y aireadas	500.00	501.00
17	Cieneguilla	Cieneguilla	Sedapal	Lagunas facultativas	10.00	10.00
18	Manchay	Pachacamac	Sedapal	Lodos activados - ICEAS	90.00	30.00
<b>Zona Centro</b>					<b>79.13</b>	<b>75.16</b>
19	Club Golf de Lima	San Isidro	Empresa Club Golf de Lima	Lagunas aireadas	15.00	15.00
20	Miraflores	Miraflores	Municipalidad Distrital de Miraflores	Filtros percoladores	1.50	0.90
21	Jardines de la Paz	La Molina	Empresa Jardines de la Paz	Lodos activados - aireación extendida	6.00	5.25
22	Club Golf La Planicie	La Molina	Empresa Club de Golf La Planicie	Lagunas aireadas	15.00	15.00
23	Paseo del Bosque	San Borja	Mun. Distrital de San Borja	Lodos activados	2.00	2.00
24	Club Golf Los Incas	Santiago de Surco	Empresa Club de Golf Los Incas	Lagunas facultativas	15.00	15.00
25	Surco	Santiago de Surco	Municipalidad Distrital de Surco	Lodos activados - aireación extendida	20.00	17.50
26	Inmaculada	Santiago de Surco	Colegio La Inmaculada	Lagunas facultativas	4.63	4.51
<b>Zona Sur</b>					<b>2,879.30</b>	<b>1,528.20</b>
27	San Juan	San Juan de Miraflores	Sedapal	Lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento	800.00	425.00
28	Huascar/Parque 26	Villa El Salvador	Sedapal	Lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento	170.00	77.00
29	Alameda Solidaridad	Villa El Salvador	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados - aireación extendida	6.00	6.00
30	Alameda de la Juventud	Villa El Salvador	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados - aireación extendida	5.00	5.00
31	Oasis de Villa	Villa El Salvador	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Humedal artificial	0.30	0.20
32	José Galvez	Villa María del Triunfo	Sedapal	Reactor anaerobico y lagunas aireadas y sedimentación	100.00	64.00
33	Huerto Comunal	Villa María del Triunfo	Mun. Dist. de Villa María del Triunfo	Lodos activados	5.00	2.00
34	Nuevo Lurín	Lurín	Sedapal	Lagunas facultativas	10.00	21.00
35	San Pedro de Lurín	Lurín	Sedapal	lagunas anaerobicas y aireadas	20.00	24.00
36	San Bartolo	Lurín	Sedapal	Lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento	1,700.00	834.00
37	Julio c. Tello	Lurín	Sedapal	Lagunas facultativas	23.00	23.00
38	Punta Hermosa	Punta Hermosa	Mun. Distrital de Punta Hermosa	Lagunas facultativas	10.00	3.00
39	San Bartolo Sur	San Bartolo	Sedapal	Lodos activados	10.00	10.00
40	San Bartolo Norte	San Bartolo	Sedapal	Lodos activados	10.00	10.00
41	Pucusana	Pucusana	Sedapal	Lagunas facultativas	10.00	24.00
<b>TOTAL</b>					<b>4,452.33</b>	<b>3,178.46</b>

Fuente: IPES 2008, Sedapal 2009, Proinversión 2011 y elaboración propia.

El cuadro 1 permite deducir que el **caudal actualmente tratado es de 3,178 l/s, equivale a solo el 17%** de los 18,850 l/s de desagües que recolecta Sedapal en la ciudad. Por tal razón esta Empresa pretende elevar su cobertura de tratamiento al 100% mediante la implementación de los Megaproyectos de La Taboada y La Chira, que juntos tendrían una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/s.

## 5.2. Capacidad de tratamiento de las plantas

La capacidad de una planta de tratamiento se expresa entre otros indicadores principalmente por la cantidad de **materia orgánica** que puede remover, por tanto en el diseño se requiere tener en cuenta tanto el caudal como la concentración de esta materia orgánica, expresados en litros o metros cúbicos por segundo y en miligramos de Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5) por litro respectivamente. Bajo estos criterios, hacemos el presente análisis comparando la concentración de DBO5 que actualmente reciben las plantas versus la que fuera considerada para sus diseños. Como se puede observar en el cuadro 3, de las 20 plantas que conocemos sus datos de caudal y DBO de diseño y actual, podemos deducir que en promedio **están recibiendo 48% más de DBO5** que el valor estimado para sus diseños. Como consecuencia de ello se ha ocasionado una **reducción obligada del 28% del caudal** que se esperaba tratar, aun cuando se está sobrecargando estos sistemas con un 36% más de la materia orgánica que se esperaba tratar. Esta situación ha disminuido la supuesta capacidad del sistema de tratamiento en términos de volumen tratado y por tanto la cobertura de tratamiento en Lima.

**Cuadro 3. Capacidad de tratamiento de 20 plantas de Lima**

No.	Nombre	Caudal (l/s)			DBO crudo (mg/l)			Carga Orgánica (kg/día)		
		Diseño	Actual	Difer.	Diseño	Actual	Difer.	Diseño	Actual	Difer.
1	Ancón	20.00	44.00	-24.00	250	189	61	432	719	-287
2	Club La Unión	18.00	12.00	6.00	250	250	-	389	259	130
3	Ventanilla	250.00	366.00	-116.00	250	402	-152	5,400	12,712	-7,312
4	El Mirador	3.50	3.50	-	845	845	-	256	256	-
5	Puente Piedra	422.00	496.00	-74.00	250	535	-285	9,115	22,927	-13,812
6	Avenida Universitaria	4.00	3.00	1.00	250	280	-30	86	73	14
7	Nueva Sede-Atarjea	1.00	1.00	-	250	250	-	22	22	-
8	San Antonio Carapongo	22.00	22.20	-0.20	250	391	-141	475	750	-275
9	Carapongo	500.00	501.00	-1.00	250	275	-25	10,800	11,904	-1,104
10	Inmaculada	4.63	4.51	0.12	200	190	10	80	74	6
11	San Juan	800.00	425.00	375.00	250	556	-306	17,280	20,416	-3,136
12	Huascar/Parque 26	170.00	77.00	93.00	250	559	-309	3,672	3,719	-47
13	Oasis de Villa	0.30	0.20	0.10	250	81	169	6	1	5
14	José Galvez	100.00	64.00	36.00	250	460	-210	2,160	2,544	-384
15	Nuevo Lurín	10.00	21.00	-11.00	250	612	-362	216	1,110	-894
16	San Pedro de Lurín	20.00	24.00	-4.00	250	402	-152	432	834	-402
17	San Bartolo	1,700.00	834.00	866.00	250	550	-300	36,720	39,632	-2,912
18	Julio c. Tello	23.00	23.00	-	250	805	-555	497	1,600	-1,103
19	Punta Hermosa	10.00	3.00	7.00	250	209	41	216	54	162
20	Pucusana	10.00	24.00	-14.00	250	348	-98	216	722	-506
<b>TOTAL</b>		<b>4,088.43</b>	<b>2,948.41</b>	<b>1,140.02</b>	<b>5,545</b>	<b>8,189</b>	<b>-2,644</b>	<b>88,470</b>	<b>120,326</b>	<b>-31,856</b>
<b>Porcentaje</b>		<b>100%</b>	<b>72%</b>	<b>28%</b>	<b>100%</b>	<b>148%</b>	<b>-48%</b>	<b>100%</b>	<b>136%</b>	<b>-36%</b>

Fuente: Proinversión 2011 y elaboración propia.

Es importante indicar que el valor de 250 mg/l de DBO5 asumido para el crudo en el momento del diseño de todas las plantas, fue deducido de la información que se tenía en la caracterización de los desagües en diferentes puntos de la ciudad en la década del 90, valor que además estaba dentro del rango esperado en ciudades como Lima. Sin embargo, en este momento las plantas operan con una concentración 42% mayor que la estimada, debido principalmente a **la incorporación de residuos sólidos** en los sistemas de alcantarillado de algunas zonas populosas de Lima y en especial en los mercados municipales e informales del Cono Sur. Desafortunadamente este problema no ha podido ser reducido mediante un control de los sistemas de alcantarillado que opera Sedapal. A ello se puede añadir que **la tugurización y el limitado abastecimiento de agua por pocas**

**horas al día** en estas zonas urbanas también están contribuyendo a **incrementar la concentración de DBO5** en sus aguas residuales. El ejemplo más evidente lo constituye la PTAR San Bartolo que fue diseñada para tratar 1,700 l/s con un DBO de 250 mg/l y actualmente opera con 834 l/s que tienen una concentración de DBO de 550 mg/l (menos de la mitad del caudal de diseño). Estas 20 plantas evaluadas (la mitad del total) están tratando actualmente 2.95 m<sup>3</sup>/s, que equivale al 15.6% de las aguas residuales recolectadas en Lima y Callao. Este volumen podría ser mayor a 4.1 m<sup>3</sup>/s si se hubiese logrado tratar los caudales considerados en el diseño de estas plantas y que representarían el 21.7% de las aguas de la ciudad.

Tomando los datos totales del cuadro 1, podemos decir que las 41 plantas de tratamiento identificadas en Lima Metropolitana están tratando actualmente el 16.9% del desagüe recolectado en Lima, valor que podría elevarse a 23.6% si se pudiera incorporar toda el caudal que fuera considerado en el diseño de estas plantas. Esta diferencia del 6.7% de agua no tratada deberá ser incluida en los futuros proyectos de tratamiento de la ciudad. Es por ello que Proinversión está promoviendo una iniciativa privada para recuperar esa capacidad perdida y que luego discutiremos en el punto 5.10.

### 5.3. Tipo de tecnología y niveles de tratamiento

Como se observa en el cuadro 4, las 41 plantas identificadas se distribuyen en 8 tipos de tecnología de tratamiento, incluyendo algunas combinadas.

**Cuadro 4. Tecnología de tratamiento utilizada en Lima**

Cod.	Tecnología de tratamiento	Plantas		Caudal	
		(No.)	(%)	(l/s)	(%)
1	Lagunas facultativas	10	24.39	130.51	4.64
2	Lagunas aireadas	5	12.20	62.00	2.20
3	Lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento	3	7.32	1,244.00	44.21
4	Lagunas anaeróbicas, aireadas y pulimento	3	7.32	819.00	29.10
5	Reactor anaeróbico y lagunas facultativas	2	4.88	71.50	2.54
6	Lodos activados	14	34.15	476.48	16.93
7	Filtros percoladores	2	4.88	6.90	0.25
8	Humedales artificiales	2	4.88	3.70	0.13
	<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100.00</b>	<b>2,814.09</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia

El 34.15% de las plantas trabajan con sistemas de lodos activados, pero solo tratan el 16.93% del agua procesada. En cambio, si bien solo tres plantas utilizan una combinación de lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento, estas son las más grandes y manejan el 44.21% del agua residual tratada, por lo que se podría decir que es la tecnología más importante utilizada actualmente en Lima. Por otro lado, los sistemas combinados anaeróbicos-aeróbicos han tomado importancia en los últimos años, tales como lagunas anaeróbicas complementadas con aireadas y de pulimento (facultativas), que manejan el 29.10% del caudal tratado, así como los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) complementados con lagunas facultativas, pero que apenas tratan el 2.54% del agua residual. El sistema de lagunas de estabilización (facultativas) que es el más antiguo se mantienen solo en plantas medianas de 10 a 20 l/s y que tratan casi el 5% del agua residual, ya que la mayor parte de estas plantas fueron remplazadas o modernizadas por

los sistemas aireados y anaeróbicos ahora existentes. Los filtros percoladores y humedales artificiales juntos manejan apenas el 0.4% del agua tratada, debido a que se han concentrado en experiencias pequeñas y pilotos para el riego de áreas verdes muy específicas.

La mayor experiencia del país en el tratamiento de las aguas residuales domésticas es el uso de **lagunas de estabilización facultativas**, que se inició desde los años 60 en San Juan de Miraflores al Sur de Lima y que luego se replicó en otras partes de Lima y el Perú. Por tal razón 10 de las 41 plantas de Lima utilizan actualmente esta tecnología, que además en otros dos casos fueron reemplazadas por las actuales plantas de lagunas aireadas de San Juan y Huáscar implementadas en el Cono Sur. La planta de José Gálvez también tuvo inicialmente solo lagunas facultativas, y luego se han complementado con un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA). Conviene señalar que las actuales plantas de lagunas de estabilización con caudales entre 10 y 20 l/s operan adecuadamente en las zonas áridas donde se instalaron. Una excepción es el caso de Ventanilla, que constituyó al inicio una buena alternativa tecnológica, pero que ahora quedó asfixiada por el casco urbano y por un caudal muy superior a su capacidad, por tanto requiere de una urgente adecuación tecnológica.

Es importante mencionar que **la tecnología de lagunas aireadas** utilizada en las tres grandes plantas de San Juan, Huáscar y San Bartolo para el Sur de Lima fue adoptada por una exigencia contractual del financiamiento externo, pero que en la práctica **no ha mostrado buenos resultados por su alto requerimiento de terreno y elevados costos de inversión**. Conviene añadir que la primera etapa de la planta de Carapongo también fue implementada con el sistema de lagunas aireadas también establecido por el país donante, pero con la segunda etapa asumida directamente por Sedapal se ha orientado al uso de lagunas anaeróbicas recubiertas y con capacidad de recolectar el metano para uso energético. Esta experiencia con procesos anaeróbicos determinó que Sedapal se anime a implementar un RAFA en la planta de José Gálvez.

La tecnología de **lodos activados** recién ha sido adoptada por Sedapal en los últimos años, ya que antes solo fue implementada en plantas pequeñas por el sector privado, como es el caso del campo santo Jardines de la Paz. Una experiencia previa en San Antonio de Carapongo animó a Sedapal a implementar la planta de Puente Piedra para tratar 422 l/s utilizando el sistema SBR (Secuencial Batch Reactor). Desafortunadamente el alto contenido de DBO5 y un exceso de caudal han generado que actualmente tenga ciertos problemas de operación. Las plantas de Santa Rosa y Miraflores son los únicos casos que utilizan **filtros percoladores** para tratar 6.9 l/s, tratamiento de nivel primario que no es suficiente para el uso de los efluentes en áreas verdes de uso público, por lo que requiere completar el proceso con una desinfección final. Cabe recalcar que la planta de Miraflores inicialmente fue concebida para el riego de la cobertura vegetal del acantilado de la Costa Verde, en donde no hay ningún problema sanitario por tratarse de una zona sin acceso al público.

Por otro lado, establecer el **nivel de tratamiento** de las plantas que operan en Lima resulta algo difícil, si asumimos que en la actualidad se consideran los procesos de desinfección como parte del tratamiento terciario. Lo que si podemos decir con facilidad es que solo los **filtros percoladores que tratan el 0.25% de las aguas** residuales pueden ser considerados como **tratamiento primario**. Ahora, si mantenemos la clasificación

tradicional, podemos decir que **todas las demás plantas aplican tratamiento secundario**, aunque ello no signifique que logran una calidad sanitaria adecuada para la disposición o reuso del agua tratada. En cambio, si incorporamos la definición moderna de tratamiento terciario para aquellas plantas que incluyen desinfección, podríamos decir que 27 de ellas podrían ser consideradas en este grupo y que tratan el 95% del agua residual, con la aclaración de que sus sistemas de desinfección no se están utilizando en la mayoría, y por tanto en la práctica no alcanzan tal nivel. Bajo el esquema tradicional, en que se entendía como tratamiento terciario los procesos específicos para remover ciertos nutrientes o compuestos químicos contaminantes, es fácil asegurar que ninguna planta de Lima alcanzaría ese nivel.

#### 5.4. Tamaño de las plantas de tratamiento según la tecnología

Según el cuadro 5, las 41 plantas fueron implementadas en 270 hectáreas, de las cuales 169 ha (63%) pertenecen a las tres grandes plantas de lagunas combinadas (**aireadas**, de sedimentación y pulimento) de San Juan, Huáscar y San Bartolo y que manejan el 44% del agua residual actualmente tratada en Lima.

**Cuadro 5. Área usada para el tratamiento en las plantas de Sedapal**

Cod.	Tecnología de tratamiento	Plantas	Caudal	Área	Indices	
		(No.)	(l/s)	(ha)	(m <sup>2</sup> /l.s)	(m <sup>2</sup> /hab)
1	Lagunas facultativas	10	130.51	45.97	3.522	8.97
2	Lagunas aireadas	5	62.00	6.46	1,042	2.65
3	Lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento	3	1,244.00	169.00	1,359	3.46
4	Lagunas anaeróbicas, aireadas y pulimento	3	819.00	26.14	319	0.81
5	Reactor anaeróbico y lagunas facultativas	2	71.50	8.85	1,238	3.15
6	Lodos activados	14	476.48	11.56	243	0.62
7	Filtros percoladores	2	6.90	0.61	884	2.25
8	Humedales artificiales	2	3.70	0.98	2,649	6.74
<b>Total</b>		<b>41</b>	<b>2,814.09</b>	<b>269.57</b>		

Fuente: Sedapal 2009 y elaboración propia.

(\*) Estimado en base a 220 l/habitante.día

Las plantas de lagunas combinadas **anaeróbicas**, aireadas y de pulimento utilizan 26 ha (9%) para tratar el 29% (819 l/s) del agua residual, mientras que las plantas de lodos activados ocupan apenas 11.5 ha (4%) para tratar casi el 17% del agua residuales (476.48 l/s). Las plantas de lagunas de estabilización facultativas abarcan 46 ha para tratar el 5% (130.5 l/s) del agua residual.

Como se puede deducir, el tamaño de la planta depende del caudal y carga orgánica tratada, la calidad final esperada y la tecnología utilizada. Las plantas más compactas con procesos acelerados por la aireación y de cortos periodos de retención requieren de menor espacio, como es el caso de las plantas de **lodos activados que demandan 0.62 m<sup>2</sup>/habitante**. En cambio las **lagunas de estabilización existentes utilizan 8.97 m<sup>2</sup>/habitante**, debido a sus mayores periodos de retención. Es conveniente resaltar que las plantas de lagunas combinadas **aireadas**, de sedimentación y pulimento han demandado 3.46 m<sup>2</sup>/habitante, espacio que representa el 38% de las lagunas de estabilización. La experiencia más exitosa de Sedapal ha sido el uso de **lagunas anaeróbicas** (complementadas con aireadas y de pulimento), que han permitido reducir el terreno a solo **0.81 m<sup>2</sup>/habitante**, apenas 33% más que el requerido para lodos

activados y sin los costos que implican la aireación, por lo que se confirma su buena performance.

## 5.5. Eficiencia del tratamiento y calidad sanitaria actual de las aguas de las plantas de Lima

La eficiencia del tratamiento debe considerar como mínimo los principales indicadores de calidad: concentraciones de sólidos suspendidos, DBO5, coliformes termo tolerantes y huevos de helmintos. El Cuadro 6 muestra los valores reportados por IPES 2008 y Sedapal en el 2009 en 18 plantas de tratamiento de Lima.

**Cuadro 6. Calidad del agua en 18 plantas de Lima**

Planta	Sólidos suspendidos (mg/l)		DBO <sub>5</sub> (mg/l)		Coliformes termo-tolerantes (NMP/100 ml)		Helmintos (huevos/l)	
	Crudo	tratado	Crudo	tratado	Crudo	tratado	Crudo	tratado
Club La Unión	250	11	74	16	3.0E+07	8.0E+05	17	2
Ventanilla	852	28	402	76	3.0E+08	1.0E+06	14	2
Puente Piedra	358	11	535	19	3.9E+08	5.1E+04	10	2
Av. Universitaria			280	2	3.3E+07	1.8E+01	21	0
Nueva sede -Atarjea	250	51	300	30	4.6E+07	8.0E+05	10	0
San Antonio Carapongo	334	43	391	29	1.3E+09	1.6E+06	14	1
Carapongo	302	24	275	24	3.0E+09	4.0E+05	15	0
Miraflores			134	73	3.3E+08	3.5E+06	23	0
Inmaculada			190	85	4.6E+07	1.7E+03	10	0
San Juan	731	29	556	28	5.4E+08	4.9E+03	6	0
Huáscar/Parque 26	641	63	559	134	2.9E+08	2.3E+03	6	0
Oasis de Villa			82	73	1.7E+07	1.3E+05	8	0
José Gálvez	439	137	460	44	1.6E+09	1.0E+06	11	0
Nuevo Lurín	476	103	612	103	7.0E+07	2.2E+06	15	1
San Pedro de Lurín	382	348	402	193	5.0E+07	1.3E+07	15	2
San Bartolo	782	32	515	39	6.3E+08	8.0E+02	60	0
Julio C. Tello	924	165	805	84	3.6E+08	3.0E+05	15	0
Pucusana	525	252	348	65	7.0E+07	7.0E+04	7	0

Fuente: IPES 2008, Sedapal 2009 y Proinversión 2011.

Los Límites Máximos Admisibles para descargas de aguas residuales tratadas **vigentes** establecen que estas no deben exceder de **5 a 15 mg/l de DBO5 según los usos**. En tal sentido los datos mostrados en el cuadro 6 permiten decir que solo una planta descarga sus efluentes con valores menores que los estipulados. Sin embargo consideramos que esos niveles establecidos son excesivos, más aún si en muchos casos los efluentes se usan para regar áreas verdes y agrícolas que aprovechan dicha materia orgánica. Por eso es importante señalar que a nivel internacional se propone que las plantas de tratamiento se diseñen para obtener un efluente con **menos de 30 mg/l de DBO5**, si sus efluentes serán descargados en cuerpos receptores naturales (León y Moscoso, 1996), condición que cumplen solo siete plantas (39%) aun cuando algunas vierten sus efluentes al río o el mar. La planta de San Bartolo está descargando al río un efluente con 39 mg/l, mientras que otras tres plantas (Huáscar/Parque 26, Nuevo Lurín y San Pedro de Lurín) superan los 100 mg/l de DBO5, probablemente debido a una sobrecarga de materia orgánica respecto a su capacidad real. Otra posibilidad sería que la abundante producción de algas en sus lagunas de acabado evidentemente eleva el DBO5, condición que en estos casos sería favorable por el aporte de nutrientes utilizados en el riego de agricultura y áreas verdes.

En el caso de los **sólidos suspendidos** tampoco la legislación peruana ha definido los niveles máximos admisibles, y al igual que el DBO5, los diseños de las plantas proponen normalmente alcanzar niveles **menores a 30 mg/l**. En tal sentido, solo cinco de las plantas evaluadas estarían por debajo de tal nivel, aun cuando San Antonio de Carapongo y San Bartolo descargan sus efluentes a los ríos Rímac y Lurín con 43 y 32 mg/l respectivamente, valores cercanos a los límites aceptados internacionalmente. Otras cinco plantas generan efluentes con valores más altos que 100 mg/l, pero no debieran ser considerados un riesgo porque sus efluentes son utilizados exclusivamente para el riego. La situación de San Pedro de Lurín si es preocupante, ya que muestra valores tan altos como 348 mg/l y que independientemente de la baja calidad sanitaria indicarían una operación muy deficiente.

Respecto a los coliformes termo tolerantes (fecales), se puede deducir que el **agua residual cruda** de Lima mantiene una concentración **entre 1.7E+07 y 3.0E+09 NMP/100 ml**, dependiendo del nivel económico y consumo per cápita de la zona socioeconómica de donde proviene. Merece una especial atención el hecho que la concentración de coliformes fecales del crudo es similar en muchos puntos de la ciudad, aun cuando las concentraciones de DBO5 fluctúan entre 74 y 805, lo que confirma que este incremento de la materia orgánica se debe a la incorporación de residuos sólidos no fecales al sistema de alcantarillado en algunos lugares.

La mejor remoción de coliformes termo tolerantes se está consiguiendo en las plantas de lagunas aireadas de San Bartolo, Huáscar/Parque 26 y San Juan, en donde sus **procesos de desinfección** estarían determinando una eficiencia de remoción de **hasta 5 niveles logarítmicos**, para llegar a valores cercanos a 1.00E+03 y que serían aceptables para uso irrestricto y el vertimiento en cuerpos de agua naturales según la Resolución Jefatural No. 0291-2009 de la ANA (ajustes en el proceso permitirían llegar a ese nivel). Los efluentes de las plantas de **lodos activados** de Puente Piedra, Atarjea y San Antonio fluctúan entre 5.1E+04 y 1.6E+06 NMP/100 ml, valores que muestran una limitada eficiencia de remoción de **2 a 3 logaritmos** y por tanto no son aptos para riego irrestricto o la descarga directa a los ríos. Esta situación es también **similar** en las plantas de Carapongo y José Gálvez que operan con **sistemas anaeróbicos**. Las plantas de lagunas de estabilización tampoco están superando una remoción mayor de 4 logaritmos, debido a sus cortos periodos de retención ocasionados por sobrecargas y pérdida de capacidad por acumulación de lodos, así como por no contar con un proceso final de desinfección. Nuevamente preocupa la situación de la planta de San Pedro de Lurín que no alcanza ni siquiera un logaritmo de remoción de coliformes termo tolerantes. En suma, **solo dos plantas logran actualmente niveles menores a 1,000 CTT/100 ml** requeridos para el riego irrestricto o la descarga a ríos, aun cuando otras tres están muy cercanas de tal nivel, por tanto será necesario **mejorar los procesos de tratamiento y/o incorporar una desinfección final**.

Aun cuando en los últimos años ha quedado demostrado que uno de los principales riesgos a la Salud Pública es la presencia de **parásitos humanos** en las aguas residuales domésticas, la normatividad peruana aún no presta la atención necesaria a este parámetro. Los datos suministrados muestran valores de **6 a 60 huevos de helmintos por litro en los desagües crudos** de Lima, niveles que podrían hacerse extensivos a todos los afluentes del resto de las plantas. Solo 12 de las 18 plantas (67%) reportan que sus efluentes **no contienen huevos de helmintos**, lo cual es muy importante. Sin embargo, las

plantas de lodos activados de Puente Piedra y San Antonio, al igual que la planta de filtros percoladores de Santa Rosa no logran remover todos los helmintos por sus cortos periodos de retención. Se asume que también las plantas de lagunas de estabilización de Ventanilla, Nuevo Lurín y San Pedro de Lurín tampoco remueven eficientemente estos parásitos porque sus sobrecargas y pérdidas de capacidad reducen sus periodos de retención, mientras que en el resto de lagunas de estabilización si se está logrando. En suma, consideramos que este parámetro sanitario debe ser evaluado con mucha cautela, ya que no necesariamente se controla con los procesos de desinfección convencionales que se aplican, por tanto se deberá incorporar otros procesos que si lo logren.

## 5.6. Operadores

Según el cuadro 7 Sedapal opera el 46.3% de las plantas más grandes y que manejan el 93% del agua tratada en Lima. Otras 14 plantas son operadas por los Municipios, pero apenas manejan el 3% del agua tratada con fines exclusivamente de riego de áreas verdes. En forma similar existe otras 5 plantas (12.2%) que tratan el 2% del caudal para regar sus áreas verdes. Por último existen otras 3 plantas medianas que son operadas por un Ministerio y una universidad pública para tratar el 1.4% de agua restante.

**Cuadro 7. Operadores de las plantas de tratamiento de Lima**

Cod.	Tipo de operador	Plantas		Caudal	
		(No.)	(%)	(l/s)	(%)
1	Sedapal	19	46.34	2,629.83	93.45
2	Municipios	14	34.15	89.00	3.16
3	Entidades privadas	5	12.20	54.76	1.95
4	Otras instituciones públicas	3	7.32	40.50	1.44
	<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100.00</b>	<b>2,814.09</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia

Un aspecto importante es que las cinco plantas más grandes de Lima son operadas por Sedapal y manejan el 83.43% de las aguas tratadas, tal como se aprecia en el cuadro 8. El 16.57% restante de caudal es tratado por las otras 35 plantas, de las cuales 14 también son operadas por Sedapal y otras 21 por municipios, entidades privadas y otras públicas, con el propósito exclusivo de reusar estas aguas para el riego de áreas verdes. En cambio, la finalidad principal del tratamiento que realiza Sedapal es sanear las aguas residuales para su disposición final, que puede incluir o no el reuso.

**Cuadro 8. Plantas más grandes de Lima**

No.	Planta	Caudal (l/s)	% del total
1	San Bartolo	775	27.68
1	Carapongo	501	17.89
1	San Juan	395	14.11
1	Puente Piedra	364	13.00
1	Ventanilla	301	10.75
35	Otras plantas	464	16.57
<b>Total agua tratada</b>		<b>2,800</b>	<b>100.00</b>

Sedapal, 2011.

Queda claro que la mayor parte del tratamiento de aguas residuales que se realiza en Lima está orientado principalmente a lograr un saneamiento que permita su disposición final sin impactos significativos en el ambiente, mientras que solo un 16.6% se realiza exclusivamente para reusar las aguas en el riego de áreas verdes. Esta orientación no ha limitado sin embargo que cada día más agua tratada con fines de saneamiento se destine al reuso. Por tanto es evidente que Sedapal deberá asumir el reto de tratar las aguas residuales para abastecer los requerimientos de riego de las áreas verdes de la ciudad.

## 5.7. Conocimiento tecnológico de SEDAPAL

Sedapal es la institución que maneja más del 93% del agua residual tratada en Lima y opera 4 de las 10 plantas más grandes del Perú, tal como se aprecia en el cuadro 9. Sedapal actualmente trata 2.63 m<sup>3</sup>/s, mientras que la EPS más cercana SEDALIB trata 1.43 m<sup>3</sup>/s. No queda la menor duda que Sedapal es la empresa con mayor experiencia en tratamiento de aguas residuales en el Perú.

**Cuadro 9. Las plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes del Perú**

EPS	Localidad	Planta	Tecnología	Caudal (l/s)	
				Diseño	Actual
<b>Las 10 plantas más grandes:</b>					
SEDAPAL	Lurín	San Bartolo	Lagunas aireadas	1700	775
SEDALIB	Trujillo	Covicorti	Lagunas aireadas	880	880
SEDAPAL	S.J. Miraflores	San Juan	Lagunas aireadas	800	395
EPSEL	Chiclayo	San José	Lagunas anaerobicas	618	618
EPSASA	Huamanga	La Totorá	Filtros percoladores	536	536
SEDAPAL	S.J. Lurigancho	Carapongo	Lagunas anaerobicas	500	500
SEDAPAL	Puente Piedra	Puente Piedra	Lodos activados -SBR	422	270
EMAPICA	Ica	Cachiche	Lagunas estabilización	411	411
EPS Grau	Sullana	El Cucho	Lagunas estabilización	380	380
SEDACUZCO	Cuzco	San Jerónimo	Filtros percoladores	320	320
<b>Total plantas más grandes de las EPS</b>				<b>6,567</b>	<b>5,085</b>
<b>Otras 29 plantas de las EPS con información</b>				<b>2,359</b>	<b>2,078</b>
<b>Otras 104 plantas de las EPS sin información</b>				<b>1,002</b>	<b>1,002</b>
<b>Total 143 plantas EPS</b>				<b>9,928</b>	<b>8,165</b>

SUNASS, 2008 y autor

Las primeras experiencias de Sedapal con lagunas de estabilización se remontan a la década de los 80 con las plantas de Ventanilla y José Gálvez, teniendo como referencia las lagunas de San Juan operadas por el Ministerio de Vivienda desde 1964. Luego asumió el manejo de la planta de lagunas aireadas de Carapongo, diseñada y construida en donación por el Gobierno de Japón.

A fines de la década de los 90 el Gobierno Peruano ejecutó el Proyecto MESIAS para dotar de tres plantas al Cono Sur de Lima, mediante un financiamiento por endeudamiento estatal proveniente también de Japón. Si bien Sedapal no estuvo a cargo del diseño y la ejecución, a partir del 2,000 le tocó asumir la operación de estas plantas. Es importante indicar que las plantas de San Juan y la etapa final de Huáscar instalada en el Parque 26, se implementaron reemplazando las plantas de lagunas de estabilización que operaba el Ministerio de Vivienda durante las tres décadas anteriores. También es relevante indicar que la planta de San Bartolo (la más grande del Perú) inició su operación en el 2008, seis años después de su construcción, debido a deficiencias técnicas en su construcción.

La operación de las tres plantas antes señaladas determinó que Sedapal comprendiera que la tecnología aplicada (lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento) no era la más adecuada para tratar todo el volumen de agua que genera la ciudad, debido a sus altos requerimientos de terreno y sus elevados costos de inversión, operación y mantenimiento. Por tanto Sedapal inició nuevas experiencias tecnológicas transformando las plantas de Carapongo y José Gálvez en sistemas combinados de tratamiento anaeróbico (lagunas y reactores respectivamente) con lagunas aireadas y de pulimento. Lo propio hizo en los últimos años al implementar la planta de lodos activados SBR y su modificación ICEAS recientemente aplicado en la planta de Manchay.

Si bien Sedapal ha desarrollado diferentes tecnologías, aun no se tiene referencias de que haya elegido una tecnología como la más aparente para aplicar a las nuevas plantas que construya, sin embargo parecería que sus técnicos orientan sus preferencias a los sistemas combinados anaeróbicos/aeróbicos. Por otro lado se debe indicar que las dos mega plantas (Taboada y La Chira) que operarían el 85% de los desagües recolectados en Lima, al parecer realizarían solo un tratamiento primario de remoción de sólidos para disponer las aguas residuales en el mar a través de emisarios submarinos.

Una debilidad identificada es que Sedapal ha orientado el tratamiento exclusivamente al saneamiento, que implica una disposición adecuada de los efluentes en un cuerpo receptor como el río y el mar, sin tener en cuenta que en la realidad una buena cantidad del agua residual es destinada para el riego agrícola y de áreas verdes. Las restricciones en sus competencias han determinado que a lo más permita la derivación del agua tratada para el riego de las áreas aledañas al sistema de descarga final, sin asumir ninguna responsabilidad sobre este reuso. Es por tanto importante que la legislación permita que Sedapal asuma este compromiso de tratar, para abastecer la demanda de agua para el riego de las áreas verdes de la ciudad. Por suerte ya se comienzan a ver algunas iniciativas de sus técnicos orientadas con este propósito, como es el caso del Proyecto de instalar una planta en La Atarjea para reemplazar el agua del río Surco que riega muchas áreas verdes de los distritos del Sur de Lima.

Independientemente de las diferentes tecnologías aplicadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas que actualmente opera Sedapal, es importante indicar que todas ellas muestran una operación y mantenimiento bastante eficiente, aún cuando no alcancen en algunos casos los niveles de calidad estipulados por ley. En tal sentido, creemos que es la institución que garantizaría mejor la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Lima. Por tanto quedaría pendiente que Sedapal asuma el compromiso de tratar la mayor parte de las aguas residuales generadas por la ciudad, incluyendo aquellas que se destinen al riego de las áreas verdes. Este compromiso pasa por la necesidad de establecer compromisos con los usuarios de este recurso, ya sean instituciones municipales o privadas.

## 5.8. Iniciativas privadas y municipales

La limitada disponibilidad y la contaminación del agua de río tradicionalmente utilizada para el riego de algunas áreas verdes de Lima, así como el elevado costo del agua potable utilizada en su reemplazo, ha determinado que algunas instituciones privadas y municipales comenzarán a ver en las aguas residuales una alternativa viable. Es así que en los 80 aparecieron las **primeras experiencias privadas** que desarrollaron El Club de Golf de Lima

y el Campo Santo Jardines de La Paz, seguidas luego por otros dos clubes de golf y el Colegio Particular La Inmaculada, tal como se aprecia en el cuadro 10. Estas iniciativas privadas se basaron en el uso de plantas medianas de lagunas de estabilización, que luego en dos casos fueron transformadas en lagunas aireadas para evitar problemas de olores con los vecinos. Solo la planta de los Jardines de La Paz fue concebida bajo un sistema de lodos activados. En términos generales, se puede decir que estos sistemas se manejan con una buena operación y mantenimiento.

**Cuadro 10. Iniciativas privadas y municipales para el tratamiento de aguas residuales en Lima Metropolitana**

Nombre	Operador	Tecnología	Caudal (l/s)
<b>Privados:</b>			<b>54.76</b>
Club Golf de Lima	Empresa Club Golf de Lima	Lagunas aireadas	15.00
Jardines de la Paz	Empresa Jardines de la Paz	Lodos activados	5.25
Club Golf La Planicie	Empresa Club de Golf La Planicie	Lagunas aireadas	15.00
Club Golf Los Incas	Empresa Club de Golf Los Inkas	Lagunas facultativas	15.00
Inmaculada	Colegio La Inmaculada	Lagunas facultativas	4.51
<b>Municipios:</b>			<b>89.00</b>
El Mirador	Municipalidad Distrital de Ventanilla	Humedales artificiales	3.50
Avenida Universitaria	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lodos activados	3.00
Callao	Municipalidad Provincial del Callao	Lodos activados - AGAR	13.90
Manco Capac	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	3.00
Sinchi Roca	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	25.00
Yoque Yupanqui	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	4.00
Miraflores	Municipalidad Distrital de Miraflores	Filtros percoladores	0.90
Paseo del Bosque	Mun. Distrital de San Borja	Lodos activados	2.00
Surco	Municipalidad Distrital de Surco	Lodos activados	17.50
Alameda Solidaridad	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados	6.00
Alameda de la Juventud	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados	5.00
Oasis de Villa	Mun. Distrital de Villa El Salvador	Humedal artificial	0.20
Huerto Comunal	Mun. Dist. de Villa Maria del Triunfo	Lodos activados	2.00
Punta Hermosa	Mun. Distrital de Punta Hermosa	Lagunas facultativas	3.00
<b>TOTAL</b>			<b>143.76</b>

Fuente: autor

Las **iniciativas municipales son más recientes** y comienzan en la década de los 90 con la Alameda de la Juventud en Villa El Salvador y la Avenida Universitaria en Carabayllo. Merece una especial mención la planta de Surco que fuera instalada por ese municipio para tratar el agua del río Surco fuertemente contaminada con desagües y residuos sólidos. Se puede apreciar que la mayoría de los casos son plantas compactas de lodos activados, salvo el caso de las lagunas aireadas en los parques zonales y facultativas en el Balneario de Punta Hermosa. También existen dos experiencias de humedales artificiales. En suma podemos decir que los municipios han desarrollado algunas **iniciativas pilotos** de tratamiento de aguas residuales con el propósito de resolver el limitado y costoso abastecimiento de agua para el riego de sus áreas verdes. Sin embargo, muestran como principales debilidades en muchas de las plantas la aplicación de **tecnologías no validadas y una deficiente operación y mantenimiento**, condiciones que no garantizan la calidad exigida para tal uso. Preocupa además que estas experiencias se repliquen en forma indiscriminada, y que la ciudad termine con gran cantidad de micro plantas que no puedan ser adecuadamente fiscalizadas. Es por ello que se propone la necesidad de que

los **municipios establezcan alianzas estratégicas con Sedapal**, para que esta Empresa asuma el tratamiento de las aguas residuales de todo Lima y les ofrezca el servicio de abastecerlos con agua residual tratada con la calidad exigida para el riego de áreas verdes.

Por último es importante indicar que a partir de 2008 Pro-Inversión ha recibido una propuesta de iniciativa privada, mediante la cual se propone concesionar todos los servicios de tratamiento de aguas residuales que actualmente ofrecen las plantas de Sedapal. Si bien dicha iniciativa aún está en etapa de estudio, Sedapal manifiesta su interés en tercerizar este servicio, por lo que si se concreta esta concesión, el sector privado asumiría toda la responsabilidad del manejo de las plantas y por ende, el mantenimiento de la calidad para los vertimientos y el reuso que se realizan. Esta iniciativa no incluye las nuevas plantas de La Taboada y La Chira, que igualmente serán tercerizadas, pero en contratos separados.

### 5.9. Proyectos en ejecución por Sedapal

La baja cobertura actual de solo 17% en el tratamiento de las aguas residuales de Lima y las metas del Plan Nacional de Saneamiento de alcanzar el 100%, ha determinado que Sedapal planifique **dos mega proyectos** para Lima: las plantas de tratamiento de aguas residuales de Taboada y La Chira.

- **La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Taboada:** ubicada en la Provincia del Callao y con una inversión de US\$ 172 millones tendrá una capacidad para tratar 14 m<sup>3</sup>/s que beneficiará a 4 millones de pobladores de 27 distritos de la zona Norte de Lima y Callao. El proyecto comprende un sistema de **tratamiento primario** y un emisor submarino, que serán implementados en 30 meses comprendidos entre enero de 2011 y julio de 2013.
- **La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Chira:** ubicada en el Distrito de Chorrillos y con una inversión proyectada de US\$ 87.58 millones contempla la construcción de una planta de **tratamiento primario** con capacidad de 6 m<sup>3</sup>/s y un emisario submarino de 3.5 km, que beneficiará a 3 millones de personas. En febrero de 2011 se suscribió el contrato de concesión al Consorcio Privado Peruano-Español Acciona/Graña y Montero, que deberá ejecutar la obra en 24 meses comprendidos entre abril de 2012 y abril de 2014.

Con estos dos megaproyectos Sedapal espera alcanzar el 100% de cobertura de tratamiento de las aguas residuales de Lima en el 2014, en la medida que ambos proyectos tendrían juntos una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/s, que sumados a los 2.6 m<sup>3</sup>/s ya existentes, permitirían una capacidad instalada de 22.6 m<sup>3</sup>/s. para atender la demanda de los 18.85 m<sup>3</sup>/s que actualmente se generan en Lima. Estas cifras establecerían una **holgura inicial de 3.75 m<sup>3</sup>/s**, sin embargo la nueva Planta de Agua Potable de Huachipa ofrecerá en los próximos meses 5 m<sup>3</sup>/s para la zona norte la ciudad, por tanto **se espera que 4 m<sup>3</sup>/s de desagües** sean recolectados y trasladados a Taboada, **desapareciendo por tanto esa holgura** que se proyectaba para los próximos años.

Por otro lado es importante indicar que el **90% del agua residual recibiría un nivel de tratamiento primario** y solo el 10% secundario.

## 5.10. Otras Iniciativas

Esta falta de holgura para tratar nuevas aguas residuales que se generen en los próximos años ha sustentado otra iniciativa promovida por el Comité de PROINVERSIÓN en Proyectos de Saneamiento e Irrigación - PRO AGUA, que mediante Acuerdo N° 142-1-2011-Saneamiento adoptado en sesión de fecha 19 de mayo de 2011 y ratificado por Acuerdo del Consejo Directivo de PROINVERSIÓN adoptado en su sesión de fecha 26 de mayo de 2011, acordó declarar de interés el Proyecto contenido en la Iniciativa Privada "Operación, Mantenimiento, Rehabilitación y Mejoramiento de 16 Plantas de Tratamiento de Agua Residual de SEDAPAL", presentada por la empresa PROACTIVA Medio Ambiente SA. Esta concesión a título gratuito por 20 años permitiría incrementar la capacidad de las plantas de tratamiento operadas actualmente por SEDAPAL de 2.6 a 4.0 m<sup>3</sup>/s, por lo que la capacidad instalada en Lima se incrementaría a 24.2 m<sup>3</sup>/s y permitiría **una holgura de 1.2 m<sup>3</sup>/s** luego de incorporar el abastecimiento de la nueva planta de Agua potable de Huachipa.

Paralelamente también Sedapal ha comprendido el rol que debe asumir para abastecer a la ciudad con aguas residuales tratadas para regar las áreas verdes, logrando así reducir el caudal que iría a Taboada y La Chira, así como de **sustituir el uso para riego de agua potable o de río** que podría ser destinada al consumo humano en los próximos años. Es por ello que también está elaborando estudios para instalar varias plantas medianas que serían destinadas exclusivamente para el riego de áreas verdes de la ciudad. Una primera iniciativa que está en fase de estudio es el remplazo del Río Surco proveniente del río Rímac y que actualmente riega gran parte de las áreas verdes de nueve distritos. Se trata de reemplazar 1 m<sup>3</sup>/s de agua de río por aguas residuales tratadas. Una primera etapa sería captar 500 l/s de aguas residuales generadas en el Cono Este de Lima para ser tratadas en una planta que sería ubicada en La Atarjea.

Por otro lado la Municipalidad Metropolitana de Lima está evaluando con mucha seriedad la necesidad de reusar las aguas residuales para el riego de las áreas verdes de la ciudad, por tanto incluirá plantas de tratamiento en todos sus Proyectos de mantenimiento y desarrollo de áreas verdes. En estos momentos ya ha decidido convocar a licitación los estudios para implementar plantas de tratamiento en los principales parques zonales a cargo del Servicio de Parques de Lima (SERPAR-Lima).

Además existen muchas pequeñas **iniciativas municipales y privadas** para instalar pequeñas plantas compactas en diferentes puntos de la ciudad, de modo que permitan abastecer algunas de las áreas verdes. Sin embargo, se tratan de soluciones muy pequeñas y focalizadas que atenderían las necesidades solo de una parte de las áreas verdes de la ciudad. Además se corre el riesgo de una proliferación indiscriminada de plantas que no cuenten con las exigencias de operación y mantenimiento y por tanto generen efluentes sin la calidad requerida para el riego de áreas verdes.

Frente a esta situación se está propiciando efectuar un **estudio de oferta y demanda para toda la ciudad**, que permita definir volúmenes y lugares requeridos para el riego de las áreas verdes, a fin de que Sedapal asuma la implementación de plantas medianas que atiendan estas necesidades. Para ello será necesario establecer convenios entre Sedapal y los municipios, que permitan lograr la sostenibilidad del tratamiento y garantizar la calidad del agua para ese tipo de reuso.

## 6. COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TÍPICAS DE LIMA

### 6.1. Costos de inversión

En una primera etapa del Proyecto SWITCH Lima se realizó un primer ejercicio para evaluar los costos de inversión de las diferentes tecnologías aplicadas, en función a la información secundaria proporcionada por las instituciones, tal como se aprecia en el cuadro 11.

**Cuadro 11. Costos de inversión para las tecnologías utilizadas en algunas plantas de tratamiento de Lima**

Tecnología	Plantas	Caudal (l/s)	Población de aporte	Inversión (US\$)	Costo inv. (US\$/hab)
Lagunas estabilización	3	23.10	9,257	175,000	19
Lagunas aireadas	2	497.00	193,427	37,000,000	191
Lodos activados	3	28.75	11,189	780,000	70
Humedales artificiales	2	3.20	1,468	50,300	34
Filtros percoladores	1	2.00	778	10,000	13

Fuente: IPES, 2007

Según estos datos preliminares, el mayor costo de inversión de US\$ 191/habitante correspondió a las plantas de lagunas aireadas de Huáscar y San Juan de Miraflores. En contraposición se estimó que las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de más bajo costo de inversión con US\$ 19/habitante, valor promedio para los casos del Colegio La Inmaculada, Huachipa y UNITRAR. Los sistemas de lodos activados reportaban costos de inversión promedio de US\$ 70/habitante para las plantas municipales de la Alameda de la Solidaridad y de Surco, valor acorde al reportado por la literatura internacional. Por otro lado, los casos de filtros percoladores y humedales artificiales también reportaron costos tan bajos como US\$ 13 y 34/habitante respectivamente, pero se debe tener en cuenta que los primeros constituyen un tratamiento solo primario y los humedales han sido subdimensionados.

Al reconocer que los datos anteriores no eran muy confiables, el Proyecto SWITCH Lima realizó una segunda etapa de estudios de caso, aplicando una tasación de seis plantas que permitió aplicar criterios homogéneos para calcular los costos que luego permitieran compararlos. Además, se incluyó el costo del terreno para conocer cómo afecta este componente los costos totales. El cuadro 12 muestra la inversión estimada para los seis casos evaluados, por lo que se puede apreciar que los componentes de la inversión en obras dependen de la tecnología de tratamiento elegida. Así tenemos que las estructuras de concreto representan entre el 62 y 76% de la inversión en todas las plantas, salvo el caso de las lagunas de estabilización de Pucusana, en donde el movimiento de tierras es el que demanda el 72% de la inversión. Igualmente se puede deducir que las inversiones fueron similares en las plantas de la Avenida Universitaria y Pucusana, aun cuando la última tiene el triple de capacidad de tratamiento. Sin embargo, la planta de La Inmaculada es una excepción, ya que demandó 3.5 veces más de inversión que Pucusana,

aun cuando ambas son lagunas de estabilización, debido a que al construirse las lagunas en la parte alta del cerro de La Inmaculada se tuvo que utilizar estructuras de concreto por razones de seguridad y que llegaron a representar el 70% del costo total de la obra.

**Cuadro 12. Costos de Inversión de seis plantas de tratamiento evaluadas en Lima (US\$)**

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

Fuente: IPES, 2008

Otro aspecto importante es que el costo del terreno ha representado entre 19 y 616% del costo de la obra según la ubicación de las plantas, ya que su valor fluctúa desde US\$ 2.25/m<sup>2</sup> en una zona rural como Pucusana, hasta US\$ 577/m<sup>2</sup> en una zona urbana exclusiva como Miraflores. El impacto de este componente permite recomendar que las plantas de tratamiento deben ser ubicadas en áreas lo más alejado posible de la zona urbana. También es posible comparar las plantas de Oasis de Villa y Huáscar/Parque 26, que tienen terrenos con un valor similar de US\$ 60/m<sup>2</sup> por estar ambas ubicadas en el mismo distrito, en las cuales el costo del terreno representa un 54 y 26% adicional al costo de las obras respectivamente, mostrando con ello que por economía de escala es proporcionalmente mayor cuanto más pequeña sea la planta.

El cuadro 13 muestra los datos calculados para conocer los costos de inversión para las seis plantas estudiadas, expresados en el monto invertido por persona atendida cuando se incluye o no el costo del terreno.

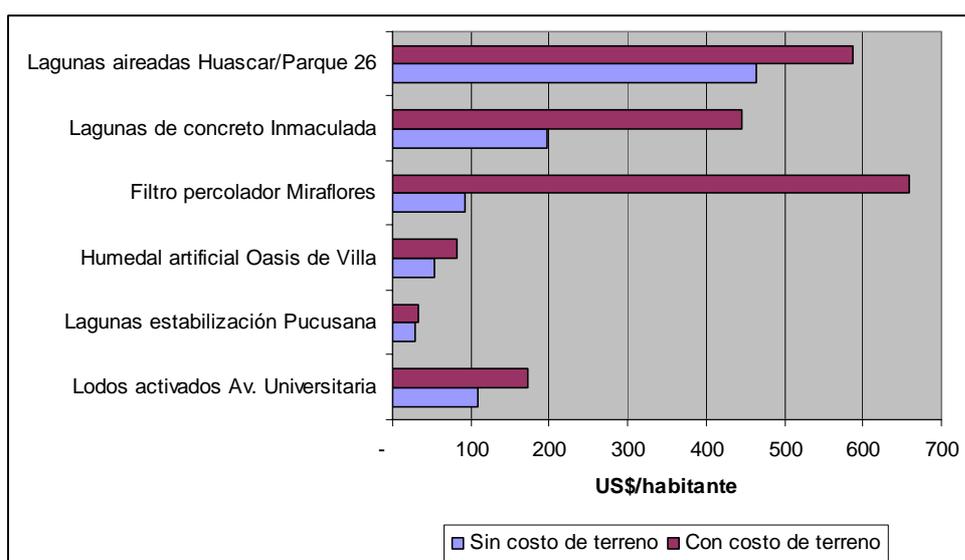
**Cuadro 13. Costos de Inversión de seis plantas de Lima según la tecnología de tratamiento**

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

Fuente: IPES, 2008

Tanto el cuadro 13 como la figura 3 muestran que el mayor costo de inversión para tratar las aguas residuales domésticas en Lima ha sido de US\$ 465/habitante y corresponde a la Planta de Tratamiento de Huáscar/Parque 26, implementada con la tecnología de lagunas aireadas, valor que puede llegar a US\$ 587/habitante al sumar el costo del terreno. De ello se deduce que si se mantuviera la estrategia de usar esa tecnología para tratar todas las aguas residuales de la ciudad, SEDAPAL requeriría invertir más de US\$ 3,600 millones.

**Figura 3. Costos de inversión de las seis plantas evaluadas**



Fuente: IPES, 2008

En contraposición se ha estimado que las **lagunas de estabilización** constituyen la tecnología de más bajo costo, aun cuando requieran mayor área de terreno. El caso de Pucusana muestra un costo de inversión de apenas US\$ 34/habitante. El caso de La Inmaculada no debe ser tomado como referencia para esta tecnología, ya que aun cuando también opera con lagunas de estabilización, se trata de una inversión muy alta por haberse construido con concreto en la parte alta del cerro. Por tanto, asumiendo un costo de US\$ 34/habitante para lagunas de estabilización, la inversión de SEDAPAL para tratar todas las aguas de Lima sería de US\$ 210 millones, monto que sólo representaría el 6% de la alternativa anterior. Sin embargo, es necesario reconocer que no es posible encontrar la cantidad de terreno requerido para tratar las aguas de toda la ciudad, a menos que se decida invertir importantes recursos para trasladar esta agua a zonas desérticas cercanas a la ciudad, como se hizo en el caso de San Bartolo. El caso de Pucusana muestra que si es posible utilizar esta tecnología en el caso de poblaciones aisladas de la gran urbe, tales como lo balnearios de Pucusana, Santa María, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y Ancón.

La planta de **lodos activados** de la Avenida Universitaria reporta un costo de inversión de US\$ 172/habitante, que podría haber sido menor si se ubicara en zonas con terrenos más baratos. Aplicando esta alternativa tecnológica, SEDAPAL requeriría una inversión de US\$ 1,050 millones para tratar todas las aguas de la ciudad, menos de un tercio del valor estimado para la opción de las lagunas aireadas como las construidas en el Sur de Lima. Sin embargo, es necesario que en forma paralela se evalúen los costos de operación y mantenimiento para elegir la tecnología más apropiada, ya que los lodos activados exigen incluir un sistema de desinfección adicional que eleva significativamente estos costos.

La planta de **filtros percoladores** de Miraflores ha reportado costos de inversión de US\$ 92 y 660/habitante sin y con terreno respectivamente, valor elevado por estar ubicado en una zona urbana muy exclusiva. Además se debe tener en cuenta que los filtros percoladores solo ofrecen un tratamiento primario, por tanto sus efluentes deben ser aplicados a las áreas verdes sin acceso al público, como es el caso del acantilado de la Costa Verde en Miraflores, pero no para regar parques públicos y campos deportivos.

El **humedal artificial** de Oasis de Villa tiene un costo de inversión equivalente a 82/habitante, valor elevado por su pequeña capacidad de tratamiento, aun cuando fue subdimensionado. Además se conoce que los humedales artificiales no aseguran una buena remoción de patógenos por sus cortos periodos de retención, a menos que se complementen con un proceso de desinfección. Estos valores nos permiten deducir que tanto los filtros percoladores como los humedales artificiales no constituyen opciones tecnológicas viables para afrontar el tratamiento pendiente de las aguas residuales de la ciudad de Lima.

Por último, es importante indicar que el proceso de tasación realizado en la segunda etapa del Proyecto SWITCH Lima ha permitido ajustar y actualizar los valores recopilados en la primera etapa del estudio. Así podemos ver como los costos de las obras se han incrementado considerablemente en todas las plantas evaluadas, sin embargo siguen manteniendo las mismas tendencias. En el caso de la planta de lodos activados de la Avenida Universitaria se elevó de US\$ 70 a 109/habitante, mientras que en las lagunas de estabilización de Pucusana paso de 19 a 28/habitante. Los humedales de Oasis de Villa muestran un incremento de US\$ 34 a 53/habitante y el filtro percolador de Miraflores pasa de US\$ 13 a 53/habitante. La variación más importante se observa en las lagunas aireadas de Huáscar/Parque 26 que se elevan de US\$ 191 a 465/habitante.

## 6.2. Costos de tratamiento estimados por el Proyecto SWITCH Lima

Los costos de operación y mantenimiento de las seis plantas de tratamiento evaluadas en el Proyecto SWITCH Lima se muestran en el cuadro 14, que incluye los costos anuales de personal, materiales e insumos, energía y servicios.

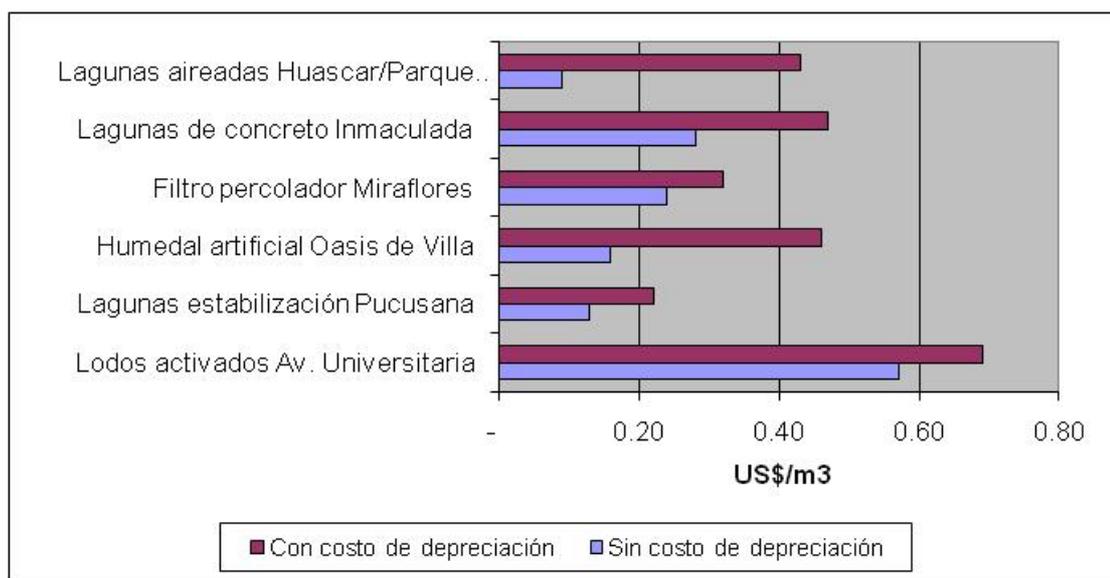
**Cuadro 14. Costos de operación y mantenimiento de seis plantas de tratamiento evaluadas en Lima (US\$)**

Descripción de partidas	Universitaria	Pucusana	Oasis de Villa	Miraflores	Inmaculada	Huáscar Parque 26
Tecnología	Lodos activados	Lagunas de estabilización	Humedal artificial	Tanque Inhoff	Lagunas de estabilización	Lagunas aireadas
Caudal tratado (l/s)	3.0	10.0	0.2	0.9	4.6	70.0
Personal	23,590	5,200	250	3,200	5,760	49,210
De Operación	16,550	3,200	250	3,200	5,760	28,810
De Seguridad	7,040	2,000				20,400
Materiales e insumos	240	100	325	1,200	7,200	1,992
Energía para aireación y bombeo	6,282	670	-	-	25,128	105,944
Electricidad y agua potable	440	-	-	800	-	1,320
Servicios por mantenimiento de equipos	850	4,670	-	-	1,440	14,070
Servicios por mantenim. áreas verdes	-	-	-	-	-	21,716
<b>Total</b>	<b>31,402</b>	<b>10,640</b>	<b>575</b>	<b>5,200</b>	<b>39,528</b>	<b>194,252</b>
Producción de agua ( m3/año)	55,200	82,800	3,532	22,075	142,500	2,177,280
Costo del agua por operación y mantenimiento (US\$/m3)	0.57	0.13	0.16	0.24	0.28	0.09
Inversión en la planta (US\$)	166,483	190,526	26,419	44,914	692,578	18,590,586
Vida útil de la planta (años)	25	25	25	25	25	25
Depreciación de la planta (US\$/año)	6,659	7,621	1,057	1,797	27,703	743,623
Costo del agua por depreciación de la inversión (US\$/m3)	0.12	0.09	0.30	0.08	0.19	0.34
<b>Costo total del agua (US\$/m3)</b>	<b>0.69</b>	<b>0.22</b>	<b>0.46</b>	<b>0.32</b>	<b>0.47</b>	<b>0.43</b>
Población atendida	1,529	2,700	500	488	3,500	40,000
Tarifa anual (US\$/persona)	24.89	6.76	3.26	14.34	19.21	23.45

Fuente: IPES, 2008

Como se puede apreciar en el cuadro 14 y la figura 4, el costo de tratamiento más bajo de todas las plantas evaluadas es de US\$ 0.22/m<sup>3</sup> y corresponde a las lagunas de estabilización de Pucusana, debido a los bajos gastos por concepto de personal y porque no utiliza equipos de aireación que demandan energía. Por el contrario, la planta de lodos activados de la Avenida Universitaria muestra el mayor costo de tratamiento con US\$ 0.69/m<sup>3</sup>, valor ocasionado especialmente por los gastos de energía y mantenimiento de los equipos de aireación que representan el 23% de los gastos operativos.

**Figura 4. Costos de tratamiento del agua en las seis plantas evaluadas**



Fuente: IPES, 2008

El bajo costo operativo de US\$ 0.16/m<sup>3</sup> del humedal de Oasis de Villa se ve seriamente afectado con el alto costo de la infraestructura que finalmente eleva su costo de tratamiento hasta US\$ 0.46/m<sup>3</sup>. En cambio, el filtro percolador de Miraflores, que demanda un mayor costo operativo que el sistema anterior (US\$ 0.24/m<sup>3</sup>), es compensado con un bajo incremento de US\$ 0.08/m<sup>3</sup> por la depreciación de la infraestructura, y que al final establece un costo de tratamiento de US\$ 0.32/m<sup>3</sup> bastante menor al del humedal. Estos resultados indican claramente que las plantas tienden a un costo de tratamiento más alto cuanto menor sea el volumen tratado.

Como antes se ha mencionado, el caso del Colegio La Inmaculada es muy especial, ya que los gastos de bombeo aunados a una fuerte inversión en infraestructura determinan un costo de tratamiento de US\$ 0.47/m<sup>3</sup>. Sin embargo este valor es significativamente más bajo que la tarifa de agua potable que pagaban antes de implementar este proyecto.

La planta de lagunas aireadas de Huáscar/Parque 26 tiene un costo operativo más bajo de solo US\$ 0.09/m<sup>3</sup>, ya que trata un caudal de 70 l/s. Sin embargo desafortunadamente este valor casi se quintuplica hasta US\$ 0.43/m<sup>3</sup> debido a la depreciación de una infraestructura muy costosa.

En suma, queda muy claro que la tecnología utilizada en las plantas evaluadas ha determinado una marcada diferencia de los costos de tratamiento, que fluctúan entre US\$ 0.22 y 0.69 por metro cúbico de agua. Sin embargo se debe tener presente que hasta

el valor más alto termina siendo menor que la tarifa de agua potable que antes pagaban por regar las áreas verdes.

### 6.3. Costos de tratamiento estimados por Sedapal para sus plantas

El Informe Complementario de la opinión de Sedapal sobre la Iniciativa Privada incorpora una información esencial y actualizada para efectuar el análisis de la factibilidad de dicha propuesta privada, por tanto a continuación resumiremos los valores calculados para las plantas de tratamiento que actualmente opera Sedapal. El cuadro 15 resumen los costos de tratamiento estimados por Sedapal para cinco grupos de plantas conformados por costos similares. Estos valores incluyen los gastos de personal e insumos, servicios de terceros, tributos, cargas diversas de gestión, provisiones y gastos generales (33%).

**Cuadro 15. Costos de tratamiento actual de las plantas de Sedapal**

Nombre	Tecnología tratamiento	Volumen anual (m3)	Costo (US\$/m3)	Costo anual (US\$)
San Bartolo	Lagunas aireadas	22,968,574	0.1384	3,179,021
Ventanilla	Lagunas de estabilización	9,162,492	0.0841	770,328
Carapongo	Lagunas anaeróbicas	14,530,840	0.0841	1,221,667
José Gálvez	RAFA + lagunas	1,584,586	0.0841	133,223
San Pedro de Lurín	Lagunas de estabilización	474,336	0.0841	39,879
Ancón	Lagunas de estabilización	1,313,204	0.4627	607,576
Santa Rosa	Filtro percolador	303,412	0.4627	140,379
Julio C. Tello	Lagunas de estabilización	408,044	0.4627	188,788
Nuevo Lurín	Lagunas de estabilización	158,112	0.4627	73,153
Pucusana	Lagunas de estabilización	126,485	0.4627	58,520
Puente Piedra	Lodos activados - SBR	11,386,138	0.1500	1,707,921
San Antonio	Lodos activados	568,766	0.1500	85,315
Atarjea	Lodos activados	84,237	0.1500	12,636
San Juan	Lagunas aireadas	13,525,918	0.1916	2,591,967
Huascar/Parque 26	Lagunas aireadas	2,323,790	0.1916	445,307
<b>Total</b>		<b>78,918,934</b>	<b>0.1426</b>	<b>11,255,679</b>

Fuente: Sedapal 2009 y elaboración propia.

Una revisión de esta información proporcionada por Sedapal nos permite opinar que el costo de tratamiento de US\$ 0.4627/m<sup>3</sup> asignado para el segundo grupo es muy elevado si se tiene en cuenta que son plantas de lagunas de estabilización y filtros percoladores. Se ha detectado que ese alto costo estimado se debe a que se incluyeron los costos operativos de las cámaras de rejillas de La Chira, Punto A y Taboada, monto total que luego fue dividido entre el volumen tratado efectivamente en las plantas involucradas. Por otro lado, el costo de tratamiento asignado a la Planta de San Bartolo es menor que el valor real, ya que como lo indica el mismo Informe Complementario, no están incluyendo los gastos de provisiones relacionadas con la inversión en lagunas y sistema de conducción.

Es así que el cuadro 16 muestra los costos de tratamiento modificados del primer y tercer grupo de plantas del cuadro anterior, conformando ahora tres grupos. Como se observa se ha incluido la Planta de San Bartolo al último grupo conformado por las plantas de San Juan y Huáscar /Parque 26 y que tiene la misma tecnología. Del mismo modo se ha integrado los grupos originales 2 y 3 para mantener el costo del tercero en todas esas plantas con tecnología similar.

**Cuadro 16. Costos de tratamiento actual de las plantas de Sedapal, modificados por el autor**

Nombre	Tecnología tratamiento	Volumen anual (m3)	Costo (US\$/m3)	Costo anual (US\$)
Ventanilla	Lagunas de estabilización	9,162,492	0.0841	770,328
Carapongo	Lagunas anaeróbicas	14,530,840	0.0841	1,221,667
José Gálvez	RAFA + lagunas	1,584,586	0.0841	133,223
San Pedro de Lurín	Lagunas de estabilización	474,336	0.0841	39,879
Ancón	Lagunas de estabilización	1,313,204	0.0841	110,406
Santa Rosa	Filtro percolador	303,412	0.0841	25,509
Julio C. Tello	Lagunas de estabilización	408,044	0.0841	34,306
Nuevo Lurín	Lagunas de estabilización	158,112	0.0841	13,293
Pucusana	Lagunas de estabilización	126,485	0.0841	10,634
Puente Piedra	Lodos activados - SBR	11,386,138	0.1500	1,707,921
San Antonio	Lodos activados	568,766	0.1500	85,315
Atarjea	Lodos activados	84,237	0.1500	12,636
San Bartolo	Lagunas aireadas	22,968,574	0.1916	4,401,459
San Juan	Lagunas aireadas	13,525,918	0.1916	2,591,967
Huascar/Parque 26	Lagunas aireadas	2,323,790	0.1916	445,307
<b>Total</b>		<b>78,918,934</b>	<b>0.1426</b>	<b>11,603,850</b>

*Fuentes: Sedapal 2,008 y elaboración propia.*

Con las modificaciones mencionadas se puede deducir que el costo actual que asume Sedapal para operar sus 15 plantas es mayor a US\$ 11.6 millones. Aun cuando Sedapal actualmente no oferta en forma comercial los efluentes de sus plantas, es evidente que este recurso tiene un valor económico importante, ya sea por su capacidad de atender el riego de áreas verdes donde no existe otro recurso, como por constituir una real alternativa para sustituir el agua potable o agua de río utilizada para este fin. A ello se suma el valor de los nutrientes que aporta a los cultivos, remplazando el uso de fertilizantes químicos que representan parte del costo de producción o mantenimiento según el caso.

## 7. DIRECTRICES DE DISEÑO PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

El Perú cuenta desde 1997 con la **Norma de Saneamiento S.090 para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**, como parte de las normas técnicas del Reglamento Nacional de Construcciones, que fuera aprobado por el entonces Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, hoy Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Este dispositivo se mantiene hasta la fecha sin ninguna revisión ni modificación, aun cuando no contempla todas las tecnologías que actualmente se utilizan en el tratamiento de las aguas residuales.

En vista que no pretendemos copiar toda la Norma S.090, procederemos a rescatar las disposiciones más relevantes de las diferentes tecnologías normadas. Antes de abordar cada tecnología de tratamiento, la Norma establece una serie de disposiciones generales que se enumeran a continuación:

- El objetivo del tratamiento es mejorar la calidad de las aguas residuales para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o de reutilización.
- Es requisito previo al diseño de la planta, efectuar un estudio del cuerpo receptor, ya que el grado de tratamiento estará de acuerdo con las normas de calidad de este cuerpo receptor.
- En el caso de aprovechamiento del efluente, el grado de tratamiento estará en función de las normas de calidad establecidas para cada tipo de aprovechamiento.
- Según el tamaño o importancia del sistema de tratamiento, el diseño de la planta se efectuará a nivel de factibilidad o definitivo.
- El diseño se realizará para un horizonte entre 20 y 30 años, que incluya las condiciones actuales y las futuras cada cinco años.
- En el diseño de plantas para más de 25,000 habitantes se deberá considerar la infraestructura complementaria necesaria, tal como casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, etc. Todas las plantas deberán contar con cerco perimétrico y medidas de seguridad.
- En la caracterización del agua residual cruda se medirá como mínimo sólidos totales en suspensión y sedimentables, nitrógeno amoniacal y orgánico, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (BDO) en 5 días y a 20°, coliformes totales y fecales, y parásitos nemátodos intestinales.
- Esta caracterización se realizará en cada descarga importante, mediante cinco campañas de medición en diferentes días de la semana. El muestreo será horario durante las 24 horas, midiendo paralelamente caudal y temperatura del agua.
- En caso de existir descargas industriales al sistema de alcantarillado, estos serán caracterizados en forma separada de los desagües domésticos.
- En sistemas nuevos se determinará el caudal medio de diseño tomando como base la población servida, las dotaciones de agua para consumo humano y los factores de contribución (80%), además de aporte por infiltración e industriales.
- El caudal de diseño de las obras de llegada y tratamientos preliminares será el máximo horario calculado sin el aporte pluvial, por lo que se deberá incluir un rebose para derivar el exceso de agua cuando se tengan alcantarillados combinados.

- Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a seleccionar los procesos, teniendo en consideración la eficiencia para remover DBO, SST, coliformes fecales y helmintos que se mencionan en el cuadro 17.

**Cuadro 17. Guía de valores de remoción de los procesos de tratamiento**

Proceso de Tratamiento	DBO (%)	Sólidos en suspensión (%)	C. fecales (unid.log)	Helmintos (unid. Log.)
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtro percolador	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aireadas	80-90	según tipo laguna	1-2	0-1
Zanjas oxidación	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas estabilización	70-85	según tipo laguna	1-6	1-4

*Fuente: Norma S.090, 1997*

- Se analizarán diferentes alternativas en relación con el tipo de tecnología y los requerimientos de terreno, equipos, energía, personal especializado para la operación, confiabilidad en las operaciones de mantenimiento y situaciones de emergencia.
- Se realizará un análisis económico para comparar las diferentes opciones, teniendo en cuenta los costos directos, indirectos y de operación y mantenimiento, así como sus impactos sobre la tarifa.
- Los estudios deberán estar acompañados de evaluaciones de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres, así como las medidas de mitigación correspondientes.
- Los diseños definitivos podrán acompañarse de estudios de ingeniería básica para alcanzar mayor grado de seguridad, tales como estudios geológicos, geotécnicos y mecánica de suelos entre otros.
- Para ciudades con más de 75,000 habitantes es obligatorio realizar estudios de tratabilidad biológica, para definir constantes cinéticas de biodegradación y mortalidad bacteriana, requerimientos de energía, cantidad de biomasa producida y variaciones de las condiciones ambientales.
- Las plantas de tratamiento deben ubicarse en un área suficientemente extensa y sin riesgos de inundación, así como estar lo más alejada posible de los centros urbanos, respetando las siguientes **distancias** de estos:
  - **500 metros como mínimo para tratamientos anaeróbicos**
  - **200 metros como mínimo para lagunas facultativas**
  - **100 metros como mínimo para lagunas aireadas, lodos activados y filtros percoladores.**
- Las plantas deberán incluir unidades de tratamiento preliminar, conformadas básicamente por cribas y desarenadores, a fin de retener los sólidos sedimentables mayores, con las especificaciones que detallan los puntos 5.3.1 y 5.3.2 de la Norma.
- Se debe incluir en forma obligatoria después de las cribas y los desarenadores un medidor de caudal de régimen crítico, de los tipos Parshall o Palmer Bowlus.

Entre las disposiciones específicas de la Norma S.090 para cada tipo de tecnología normada podemos citar los siguientes:

## 7.1 Tanques Imhoff

Son un tipo de tanques de sedimentación primaria que incorporan la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior. Para el diseño se debe utilizar los siguientes criterios:

- El área se determinará en base al caudal medio y con una carga de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , a fin de alcanzar un periodo de retención nominal de 1.5 a 2.5 horas.
- El fondo tendrá una sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados tendrá 50 a 60 grados con respecto al eje horizontal.
- Se dejará una abertura en la arista central para permitir el paso de sólidos de 0.15 a 0.20 m y uno de los lados deberá prolongarse para impedir el paso de gases hacia el sedimentador, prolongación que deberá tener una proyección horizontal de 0.15 a 0.20 m. El borde libre será mínimo de 0.30 m.
- El diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodo (zona de digestión) se realizará en función al volumen de lodos, estimado a partir de una reducción de 50% de sólidos volátiles, una densidad de  $1.05 \text{ kg/l}$  y un contenido promedio de sólidos de 12.5% al peso.
- El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante el proceso de digestión de acuerdo a la temperatura, por tanto varía entre 110 y 30 días de digestión para temperaturas de 5 a  $25^\circ$  respectivamente.
- Alternativamente se puede estimar el volumen del compartimiento de lodos a razón de 70 litros por habitante para una temperatura de  $15^\circ\text{C}$ . Para otras temperaturas se multiplicará este valor por un factor de capacidad relativa que puede fluctuar entre 2.0 y 0.5 para temperaturas de 5 a  $25^\circ\text{C}$  respectivamente.
- El diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador se realizará con un espaciamiento libre mínimo de un metro y una superficie de por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- Para facilitar la remoción intermitente de los lodos digeridos se usará una tubería con un diámetro mínimo de 200 mm, instalado a 15 cm por encima del fondo.

## 7.2 Tanques de sedimentación

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

- Para el cálculo del área se usarán cargas superficiales de 24 a  $60 \text{ m}^3/\text{día}$  en función al caudal medio de diseño y que equivale a una velocidad de sedimentación de 1 a  $2.5 \text{ m/h}$ .
- El periodo de retención nominal será de 1.5 a 2.5 horas, basado en el caudal máximo diario de diseño.

- La profundidad será producto de la carga superficial y el periodo de retención, debiendo estar entre 2 y 3.5 m. La relación largo/ancho debe estar entre 3 y 10 y la relación largo/profundidad entre 5 y 30.
- La carga hidráulica en los vertederos será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/día por metro lineal, basada en el caudal máximo diario de diseño.
- La eficiencia de remoción del proceso de sedimentación puede ser estimado con los datos del cuadro 18.

**Cuadro 18. Remoción recomendada para los tanques de sedimentación (%)**

Periodo de retención (horas)	DBO de 100 a 200 mg/l		DBO de 200 a 300 mg/l	
	DBO	SST	DBO	SST
1.5	30	50	32	56
2.0	33	53	36	60
3.0	37	58	40	64
4.0	40	60	42	66

*Fuente: Norma S.090, 1997*

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

### 7.3 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento secundario de las aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de microorganismos (algas, bacterias y protozoarios) y la materia orgánica contenida en el agua residual. Este tipo de tratamiento se recomienda cuando se busca un alto grado de remoción de organismos patógenos. Para la concepción del Proyecto, la Norma indica que se deben seguir las siguientes consideraciones:

- El sistema debe concebirse por lo menos con dos unidades en paralelo, para mantener la operación de la planta mientras una unidad se limpia.
- La conformación de unidades, número y forma estará en función de la topografía del terreno, tratando de optimizar el balance entre corte y relleno de diques.
- Se recomienda formas alargadas para mejorar la eficiencia hidráulica del sistema, recomendándose una relación largo/ancho mínima de 2.
- El dispositivo de entrada de agua a la laguna debe ser simple y no muy alejado del borde del talud, con descarga preferentemente sobre la superficie.
- El dispositivo de salida no debe permitir la descarga por rebose y tener una pantalla para la retención de natas.
- El ancho de la berma debe ser por lo menos de 2.5 m para permitir el tránsito de vehículos y equipo pesado para la limpieza de lodos.
- El diseño de los diques dependerá del tipo de suelo y los estratos a cortarse en el movimiento de tierras, según las pruebas de mecánica de suelos evaluada en cuatro calicatas como mínimo por hectárea. Los taludes interiores en general deberán tener una inclinación entre 1:1.5 y 1:2, mientras que en los exteriores será entre 1:2 y 1:3.

- Si fuera necesario se deberá incluir un sistema de impermeabilización de fondos y taludes, justificando la solución adoptada.

Los sistemas de lagunas pueden estar conformados por varias unidades de tipo anaeróbicas, aireadas, facultativas y de maduración.

#### a. **Lagunas anaeróbicas**

Las lagunas anaeróbicas se emplean como primera unidad del sistema cuando se tiene aguas residuales con alta concentración de materia orgánica y una limitada disponibilidad de terreno. No se recomiendan en lugares con temperaturas menores de 15°C y alto contenido de sulfatos. Para el diseño de estas lagunas se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- En el dimensionamiento se puede usar una carga orgánica volumétrica de 100 a 300 g DBO/m<sup>3</sup>.día y superficial mayor a 1,000 kg DBO/ha.día.
- Se debe aplicar profundidades entre 2.5 y 5 m para alcanzar un 50% de remoción de DBO en un periodo de retención nominal de 1 a 5 días.
- Se debe diseñar un mínimo dos unidades en paralelo, a fin de permitir la operación en una, mientras se remueve el lodo en la otra.
- No se aplica el cálculo de remoción bacteriana porque la reducción es mínima.
- Debido a las altas cargas aplicadas en estas lagunas, siempre es necesario un tratamiento adicional para alcanzar la calidad deseada.

#### b. **Lagunas aireadas**

Las lagunas aireadas se emplean generalmente como primera unidad del sistema, en casos en que la disponibilidad de terreno es escasa y se tiene una alta concentración de materia orgánica. No se recomienda utilizar lagunas aireadas en serie. Existen varios tipos de lagunas aireadas:

- **Lagunas aireadas de mezcla completa:** que mantienen toda la biomasa orgánica en suspensión mediante una alta densidad de energía instalada (mayor de 15 W/m<sup>3</sup>). La profundidad varía de 3 a 5 m y el periodo de retención entre 2 y 7 días. Se recomienda el uso de aireadores de baja velocidad de rotación. Estas lagunas se dimensionan con una constante de degradación experimental que debe estar alrededor de 0.025 a 20°C y establecida en condiciones del mes más frío. Los requisitos de oxígeno se determinan para las condiciones del mes más cálido y en forma similar a los lodos activados. Para la remoción de coliformes fecales se aplica el mismo coeficiente de mortalidad que para las lagunas facultativas para las condiciones del mes más frío y que es afectado por el factor de dispersión. Normalmente estas lagunas se complementan con otras facultativas.
- **Lagunas aireadas facultativas:** que mantienen la biomasa en suspensión parcial con una densidad de energía instalada entre 1 y 4 W/m<sup>3</sup>. Estas lagunas tienden a acumular lodos en el fondo y favorecer el crecimiento de algas en la superficie en días con buena insolación. También es frecuente que se complementen con otras lagunas facultativas.
- **Lagunas facultativas con agitación mecánica:** aplicada exclusivamente en unidades sobrecargadas en climas cálidos. Tienen una densidad de energía

instalada tan baja como 0.1 W/m<sup>3</sup>, que principalmente busca vencer la estratificación térmica en ausencia de viento. El diseño es similar a las lagunas facultativas y el uso de los aireadores puede ser intermitente.

### c. Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas pueden ser utilizadas como unidad única, o por dos o más en serie, o como unidad secundaria de anaeróbicas y aireadas, en cuyo caso se les denomina lagunas de maduración. Los criterios de diseño deben ser determinados en forma experimental, teniendo en cuenta las temperaturas y mortalidad bacteriana. En el caso de no ser posible se recomienda utilizar los siguientes criterios:

- La carga superficial de diseño en kg DBO/ha.día se determinará con la ecuación  $C_d$  igual a 250 por 1.05 a la T-20.
- La temperatura del agua usada para el diseño será el promedio mensual del mes más frío, deducida de datos existentes en la zona.
- El coeficiente de mortalidad bacteriana será adoptado entre el intervalo 0.6 y 1.0 l/día para 20°C.
- La carga de diseño podrá reducirse en los casos en que existan variaciones bruscas de temperatura y caudal o la presencia de desechos industriales.
- La profundidad deberá ser mayor de 1.5 m para evitar proliferación de plantas acuáticas de enraizamiento en el fondo, valor que será mayor en la primera laguna para prever una acumulación de lodos entre periodos de limpieza de 5 a 10 años.
- Para una adecuada remoción de parásitos nemátodes intestinales se requerirá un periodo de retención nominal mínimo de 10 días en una de las unidades del sistema.

## 7.4 Lodos activados

Este proceso tradicional de tratamiento de las aguas residuales tiene una serie de variaciones, por tanto la Norma S.090 ha elegido solo aquellas que permiten alcanzar una remoción de 75 a 95% de la DBO. Para el diseño de cualquier variante de lodos activados se tendrá en consideración las siguientes disposiciones generales:

- Los criterios fundamentales del proceso, como edad del lodo, requerimiento de oxígeno, producción de lodo, eficiencia y densidad de la biomasa deben ser determinados en forma experimental.
- Los estudios de tratabilidad establecerán por lo menos tres condiciones de operación según la "edad del lodo", a fin de cubrir un intervalo de valores entre las condiciones iniciales y el final de la operación, incluyendo los balances de energía (oxígeno) y nutrientes.
- En donde no se realicen estos estudios de tratabilidad, se podrá utilizar para el diseño los valores referenciales que se citan en el cuadro 19.

**Cuadro 19. Valores referenciales para el diseño de diferentes tipos de proceso de lodos activados**

Tipo de proceso	Carga volumétrica (kg DBO/m <sup>3</sup> /día)	Periodo de retención (horas)	Edad del lodo (días)
Convencional	0.3-0.6	4-8	4-15
Aireación escalonada	0.6-0.9	3-6	5-15
Alta carga	1.1-3.0	2-4	2-4
Aireación prolongada	0.2-0.3	16-48	20-60
Mezcla completa	0.8-2.0	3-5	5-15
Zanja de oxidación	0.2-0.3	20-36	30-40

*Fuente: Norma S.090, 1997*

- Los requerimientos de oxígeno del proceso se deben calcular para condiciones de operación con la temperatura promedio mensual más alta y deben ser suficientes para abastecer de oxígeno los requeridos para la síntesis de la materia orgánica (remoción de DBO), para la respiración endógena y para la nitrificación, usando las ecuaciones indicadas en el ítem 5.5.3.1.f. de la Norma.
- La selección del tipo de aireador deberá justificarse técnica y económicamente. Para los sistemas de aireación mecánica se deberá tener presente el rendimiento de los aireadores en un régimen de funcionamiento de 24 horas.
- La densidad de energía (W/día) se determinará relacionando la capacidad del aireador con el volumen del tanque, a fin de permitir una velocidad de circulación del licor mezclado que no permita la sedimentación de sólidos.
- La potencia requerida será determinada considerando la carga sobre el difusor más la pérdida de carga por el flujo de aire a través de las tuberías y accesorios.

Las **zanjas de oxidación** constituyen una forma especial de aireación prolongada con bajos costos de instalación, ya que no es necesario el uso de decantación primaria y el lodo estabilizado en el proceso puede ser desaguado directamente en lechos de secado. Se trata de un proceso de operación simple y con capacidad para absorber variaciones bruscas de carga. Los criterios de diseño de las zanjales de oxidación son los mismos que se han enunciado antes para todos los procesos de lodos activados, sin embargo La Norma brinda las siguientes recomendaciones adicionales para este proceso:

- Para **poblaciones menores a 10,000 habitantes** se pueden diseñar zanjales de tipo convencional con rotores horizontales. La forma de estas zanjales es ovalada y tiene un simple tabique de nivel soportante en la mitad. Para una adecuada distribución de las líneas de flujo, se recomienda instalar por lo menos dos tabiques semicirculares en los extremos. La profundidad no debe ser mayor de 1.5 m para facilitar la transferencia de oxígeno. El rotor horizontal debe permitir la circulación del agua con una velocidad mínima de 25 cm/s y tener un rendimiento de 1.8 a 2.8 kg O<sub>2</sub>/Kwh.
- Para **poblaciones mayores de 10,000 habitantes** se debe instalar obligatoriamente una zanja de oxidación profunda con aireadores de eje vertical y baja velocidad de rotación. La profundidad de la zanja será de 5 m y el ancho de 10 m como máximo. La densidad de energía deberá ser superior a 10 W/m<sup>3</sup>. La profundidad del canal debe ser entre 0.8 y 1.4 veces el diámetro del rotor y el

ancho entre 2 y 3 veces el diámetro del rotor. La longitud total no debe sobrepasar los 250 m.

Los **sedimentadores secundarios** constituyen la otra parte importante del proceso de los lados activados y deben ser diseñados con datos experimentales. En ausencia de pruebas de sedimentación, el diseño se debe efectuar para caudales máximos horarios y teniendo en cuenta los parámetros que se citan en el cuadro 20.

**Cuadro 20. Parámetros para el diseño de sedimentadores secundarios**

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

*Fuente: Norma S.090, 1997*

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

Los **decantadores rectangulares** constituyen la segunda opción y tendrán una relación largo/ancho mínima de 4 a 1 y una relación ancho/profundidad entre 1 y 2. Los decantadores menores a 300 m<sup>3</sup> no requieran mecanismos de barrido de lodos. En los que si tengan, la remoción se realizará en forma intermitente, entre periodos de viaje del mecanismo. En este caso el lodo será bombeado a una cámara de repartición con compuertas manuales y vertederos para separar el lodo de exceso. Alternativamente se puede descargar el lodo de exceso directamente al tanque de aireación. Si la edad del lodo es de 20 días, se deberá desechar diariamente 1/20 del volumen del tanque de aireación.

## 7.5 Filtros percoladores

La Norma S.090 propone utilizar aquellos filtros percoladores que reduzcan al mínimo la utilización de equipo mecánico, tales como lechos de piedra, distribución de efluente primario (tratado en tanques Imhoff) por medio de boquillas o mecanismos de brazo giratorio autopropulsados, sedimentadores secundarios sin mecanismos de barrido y retorno del lodo secundario al tratamiento primario. Los filtros percoladores pueden ser de baja y alta carga, cuyos parámetros se indican en el cuadro 21.

**Cuadro 21. Parámetros recomendados para los filtros percoladores de baja y alta carga**

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

Fuente: Norma S.090, 1997

Los filtros percoladores deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La dosificación en los filtros de baja carga debe efectuarse por medio de sifones y en intervalos de 5 minutos, mientras que en los de alta carga debe ser continua por efecto de la recirculación, y en el caso de utilizarse sifones, el intervalo debe ser inferior a 15 segundos.
- Se permitirá cualquier medio de contacto que promueva el desarrollo de la mayor cantidad de biopelícula y que permita la libre circulación del agua y del aire, sin producir obstrucciones. Cuando se utilicen piedras pequeñas, el tamaño mínimo será de 25 mm y el máximo de 75 mm. Para piedras grandes, se utilizará un tamaño de 10 a 12 cm.
- Los filtros deben incluir un sistema de ventilación para permitir la circulación del aire por diferencia de temperatura, ya sea a través del sistema de drenaje o del lecho de contacto.
- El sistema de drenaje debe proveer un soporte físico al medio de contacto y recolectar el agua, para lo cual el fondo debe tener una pendiente entre 1 y 2%.

## 7.6 Sistemas biológicos rotativos de contacto

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

- Discos de madera, material plástico o metal, ubicados en forma paralela para permitir una gran superficie de contacto que favorezca el desarrollo máximo de la biopelícula.
- Mallas cilíndricas rellenas de material liviano.

Para el diseño de estas unidades la Norma indica que deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La carga orgánica debe fluctuar entre 0.03 y 0.16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.
- La velocidad periférica de rotación debe mantenerse alrededor de 0.3 m/s para aguas residuales domésticas.
- El volumen mínimo de las unidades debe ser de 4.88 l/m<sup>2</sup> de superficie de medio de contacto.
- Se utilizará un mínimo de cuatro unidades para los módulos en serie.

## 7.7 Aplicación sobre el terreno y reuso agrícola

La aplicación en el terreno de aguas residuales pre-tratadas puede o no producir un efluente final, ya que puede ser reutilizado en el riego agrícola. Por tanto los estudios de factibilidad deben incluir una evaluación de suelos, de la calidad del agua y del tipo de cultivos y sus características de riego. Los tres principales procesos de aplicación sobre el terreno son:

- **Riego a tasa lenta:** aplicado a suelos con una permeabilidad no mayor de 5 cm/día y pendientes de hasta 20% para cultivos agrícolas y de hasta 40% para bosques. La profundidad mínima de la napa freática deben ser de 1.5 metros y preferible más de 3 metros. Se debe analizar el balance hídrico y la carga de nitrógeno para evitar que las aguas subterráneas se excedan de 10 mg/l de nitratos. La carga orgánica será de 11 a 28 kg DBO/ha.día para impedir un desarrollo exagerado de biomasa.
- **Infiltración rápida:** para suelos capaces de infiltrar de 10 a 60 cm/día como los arenosos, limo arenosos, arena limosos y grava fina. Requiere de por lo menos un tratamiento primario previo y un adecuado conocimiento de las variaciones del nivel freático, ya que esta capa debe estar como mínimo a 3-4.5 m de profundidad. La carga hidráulica puede variar entre 2 y 10 cm por semana y la carga orgánica debe mantenerse entre 10 y 60 kg DBO/ha.día. Los periodos de aplicación deben mantener una relación entre 2:1 y 7:1 entre el descanso y la aplicación.
- **Flujo superficial:** más adecuados para suelos de baja permeabilidad como los arcillosos y pendientes de 2 a 8%. Se requiere de suelos con superficie uniforme para favorecer una distribución homogénea sobre una cobertura vegetal como pastos u otro tipo de vegetación similar. Se puede usar cargas orgánicas de hasta 76 kg DBO/ha.día y el sistema de aplicación debe ser intermitente, con una relación de 2:1 entre los periodos de descanso y aplicación. Antes del corte o pastoreo de ganado, se recomienda un descanso mínimo de dos semanas.

## 7.8 Filtros intermitentes de arena

Son sistemas utilizados para remover sólidos, DBO y algunos tipos de microorganismos. Para ello deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Deben manejar efluentes de un tratamiento primario como mínimo y mejor secundario. La carga hidráulica debe ser de 0.08 a 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día para efluentes primarios y 0.2 a 0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día para efluentes secundarios.
- El lecho filtrante puede ser material granular lavado con menos de 1% de materia orgánica y la profundidad del lecho puede variar entre 0.60 y 0.90 m. La arena debe tener un tamaño efectivo de 0.35 a 1.0 mm y un coeficiente de uniformidad menor que 4.
- La distribución del afluente se realizará con canaletas o por aspersion, dosificado con una frecuencia mínima de 2 veces al día e inundando el filtro hasta 5 cm de profundidad.
- Se recomienda un mínimo de dos unidades, con capacidad cada una de tratar todo el caudal mientras la otra reciba mantenimiento.

## 7.9 Tratamientos anaeróbicos de flujo ascendente

El tratamiento anaeróbico de flujo ascendente es una modificación del proceso de contacto anaeróbico y se trata de un reactor en el que el agua ingresa por un sistema de distribución localizado en el fondo, por lo que luego fluye hacia arriba atravesando un medio de contacto anaeróbico. En la parte superior tienen una zona de separación de las fases líquida y gaseosa, permitiendo finalmente que el efluente clarificado salga por la parte superior. Las principales ventajas del proceso son:

- Permite eliminar el proceso de sedimentación.
- Trabaja con cortos periodos de retención.
- Produce biogás.
- Puede ser aplicado a las aguas residuales con alta concentración.

Las principales desventajas de este proceso son:

- Su control operacional es especializado y de alto costo.
- La remoción bacteriana es muy baja y la remoción de parásitos es nula.
- Son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura.
- La infraestructura sufre un deterioro más acelerado por efectos de la corrosión.
- Requiere ser complementado por un proceso de tratamiento posterior, ya que convierte el nitrógeno orgánico en amoníaco, gas que es tóxico y por tanto se requiere oxígeno adicional para su nitrificación.

Existen varios reactores anaeróbicos de flujo ascendente, pero los más usados son los siguientes:

- **Reactor de lechos anaeróbicos fluidificados:** en donde el medio de contacto es un material granular (normalmente arena). Su uso debe ser justificado ante la autoridad competente, ya que requieren de un mayor grado de mecanización.
- **Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA):** en donde el desecho asciende a una zona de manto de lodos. Es el reactor más usado y puede trabajar con cargas de diseño de 1.5 a 2.0 kg DBO/m<sup>3</sup>.día. El sedimentador debe tener una carga superficial de 1.2 a 1.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hora, calculada en base al caudal medio y una altura entre 1.5 y 2.0 m. El reactor debe tener una altura entre 3 y 7 m según se trate de agua residual doméstica o de alta carga orgánica. La altura total es la sumatoria de las alturas del sedimentador, el reactor y el borde libre. En la parte superior debe existir un área para colectar el gas producido.

## 7.10 Desinfección

Los procesos de tratamiento deben lograr la mayor reducción de bacterias, pero en el caso de no alcanzar la calidad estipulada para el vertimiento o reuso, el sistema deberá ser complementado por un proceso adicional de desinfección intermitente o continua. La Norma considera que la desinfección de aguas residuales crudas no es una opción técnicamente aceptable.

El diseño de instalaciones de cloración debe estar sustentado con las dosis de cloro, el tiempo de contacto, la capacidad de la cámara de contacto, y otros detalles de las instalaciones de dosificación, inyección, almacenamiento y dispositivos de seguridad.

La Norma S.090 no especifica criterios para el diseño de otras técnicas de desinfección, indicando tan solo que deberá sustentar el uso de radiación ultravioleta, ozono u otros.

### 7.11 Tratamiento terciario

La Norma S.090 indica que cuando el grado de tratamiento fijado de acuerdo al cuerpo receptor o aprovechamiento sea mayor al que se pueda alcanzar con el tratamiento secundario, se deberá utilizar métodos para realizar un tratamiento adicional terciario o avanzado, tales como:

- **Ósmosis inversa.**
- **Electrodiálisis.**
- **Destilación.**
- **Coagulación.**
- **Remoción por espuma.**
- **Microfiltración.**
- **Extracción por solventes.**
- **Intercambio iónico.**
- **Oxidación química.**
- **Precipitación.**
- **Nitrificación y desnitrificación.**

### 7.12 Tratamiento de lodos

El diseño de instalaciones para el tratamiento de lodos estará basado en un cálculo previo de la producción de lodos en los procesos del tratamiento de las aguas residuales. Para ello se tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los cálculos se realizarán para caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más frío.
- Para lodos primarios se determinará el volumen y masa de sólidos en suspensión totales y volátiles, teniendo en cuenta los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.
- Para procesos de **lodos activados y filtros biológicos** se determinará la masa de lodos biológicos producidos por síntesis de la materia orgánica, menos la cantidad destruida por respiración endógena.
- En procesos de lodos activados con **descarga directa desde el tanque de aireación**, se determinará el volumen de lodo producido a partir de edad de lodos, caso en que la concentración del lodo de exceso es la misma que la del tanque de aireación.
- En procesos de lodos activados con **descarga de lodo de exceso antes del tanque de aireación** se determinará el volumen del lodo producido, a partir de la concentración de lodos recirculado del fondo del sedimentador secundario.
- Los **lodos de zanjas de oxidación y aireación prolongada** solo requieren de deshidratación en un lecho de secado.

El tratamiento de lodos se puede lograr a través de los siguientes procesos:

- **Digestión anaeróbica:** permite la estabilización, la reducción del volumen y la inactivación de organismos patógenos. Existen las alternativas de digestión en dos etapas con recuperación de gas, digestión abierta sin recuperación de gas.
- **Lagunas de lodos:** pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos ya digeridos. Para evitar malos olores se deben usar cargas bajas menores a 0.25 kg SSV/m<sup>2</sup>.día.
- **Aplicación de lodos sobre el terreno:** los lodos estabilizados pueden ser aprovechados para acondicionar suelos, siempre que se haya removido por lo menos el 55% de los sólidos volátiles suspendidos.
- **Remoción de lodos de las lagunas de estabilización:** en la estación seca se realizará el drenaje de las lagunas hasta alcanzar un nivel que permita la exposición al ambiente del lodo sedimentado en el fondo. El lodo seco puede ser removido con equipo mecánico y almacenado en pilas de 2 m por 6 meses cuando proviene de lagunas primarias
- **Lecho de secado:** es el método más simple y económico para deshidratar los lodos estabilizados. El dimensionamiento de lechos se calculará en función a la masa y volumen de los lodos estabilizados, adoptando una profundidad de aplicación de 20 a 40 cm que se realizará entre 4 y 6 horas. El periodo de secado será entre 3 y 4 semanas en climas cálidos y entre 4 y 8 semanas en climas más fríos.

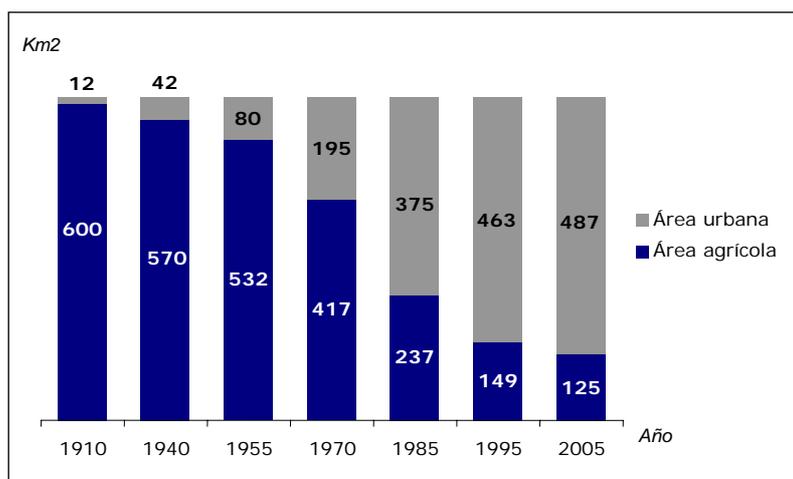
## 8. ÁREAS VERDES DE LIMA

La ciudad de Lima inicialmente fundada sobre el valle del río Rímac, hoy se extiende sobre otros dos valles aledaños pertenecientes a los ríos Chillón y Lurín. El crecimiento urbano de Lima se realizó inicialmente sobre 612 km<sup>2</sup> de tierras agrícolas de buena calidad y luego en las últimas décadas sobre otros 2,177 km<sup>2</sup> de terrenos eriazos localizados entre de las partes bajas de las cuencas de los tres ríos mencionados. Por tanto actualmente Lima Metropolitana es una de las grandes ciudades con menor cantidad de áreas verdes, situación que se agrava por estar ubicada en una zona desértica sin vegetación.

### 8.1. Las áreas agrícolas urbanas

La agricultura urbana viene siendo desarrolladas en dos áreas del territorio municipal de Lima: áreas periurbanas y áreas intraurbanas. En relación a la agricultura urbana desarrollada en **áreas periurbanas**, cabe señalar que el área agrícola de Lima Metropolitana ha disminuido en los últimos 95 años de 600 a 125 Km<sup>2</sup>, debido al acelerado crecimiento urbano, tal como se muestra en la figura 5.

**Figura 5. Evolución de las áreas urbana y agrícola de Lima**



Fuente: Moscoso y Alfaro, IPES, 2008

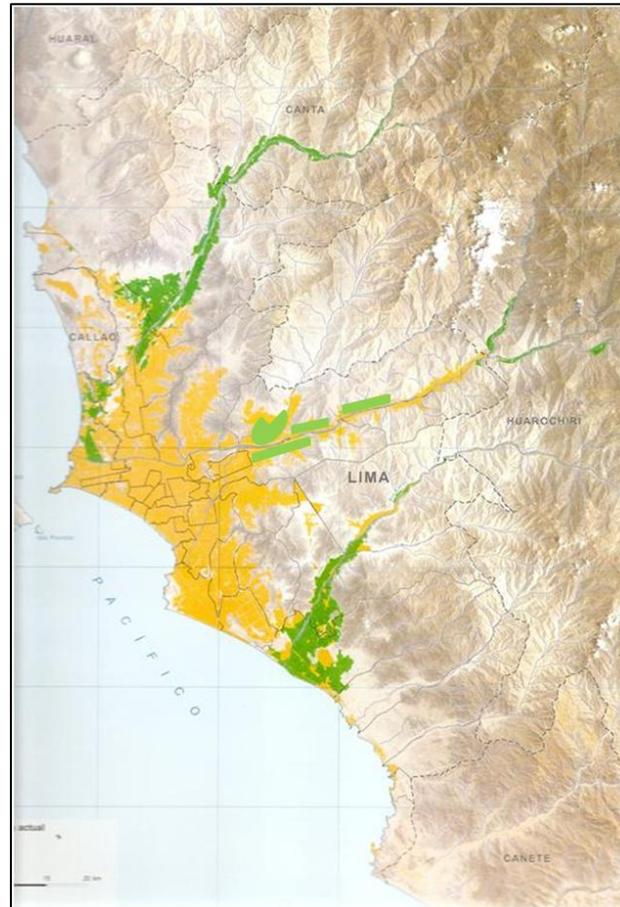
**Cuadro 22. Área agrícola en Lima Metropolitana**

Organización	Nº de comisiones	Área bajo riego (ha)	Nº de usuarios
Junta de Usuarios del Río Rímac	11	3,958	1,922
Junta de Usuarios del Río Lurín	12	4,166	3,622
Junta de Usuarios del Río Chillón	12	4,556	2,057
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>12,680</b>	<b>7,601</b>

Fuentes: Juntas de Usuarios de los ríos Rímac, Lurín y Chillón, 2010.

De acuerdo al cuadro 22, actualmente se estima que la agricultura en las Provincias de Lima y Callao es realizada por 7,600 agricultores en 12,680 ha ubicadas en los tres valles de los ríos Rímac, Lurín y Chillón. A esta cifra se debe añadir 300 ha ubicadas fuera de las cuencas en zonas desérticas y exclusivamente con aguas residuales.

**Figura 6. Mapa de ubicación de diferentes zonas agrícolas en las tres cuencas**



*Fuente: Atlas Ambiental de Lima, 2008.*

La figura 6 muestra la ubicación de las áreas agrícolas en los tres valles. Los cultivos más importantes en la cuenca del río Rímac son las hortalizas, y en menor escala, el gras americano y la chala. En la cuenca del río Lurín predominan los frutales, plantas ornamentales, maíz, chala y hortalizas. La chala y en menor proporción las plantas aromáticas son los cultivos más representativos de la cuenca del río Chillón.

En relación a la agricultura desarrollada en **áreas intraurbanas**, cabe señalar que este tipo de práctica se inició como estrategia de la población para su autoabastecimiento alimentario, y luego para generación de ingresos y mejora del entorno ambiental. Todo este proceso se ha apoyado en las costumbres y tradiciones agrícolas y pecuarias de los nuevos habitantes de la ciudad, que mayormente provienen de las zonas rurales del país. La agricultura intraurbana aún está conformada por pequeñas experiencias, comparadas con la que se realiza en las áreas periurbanas. La gran mayoría son parcelas de carácter familiar que tienen entre 4 y 50 m<sup>2</sup>, sin embargo tienen la ventaja de lograr buenos niveles de rendimiento y calidad, debido a la gran dedicación de los agricultores y el casi inexistente uso de químicos.

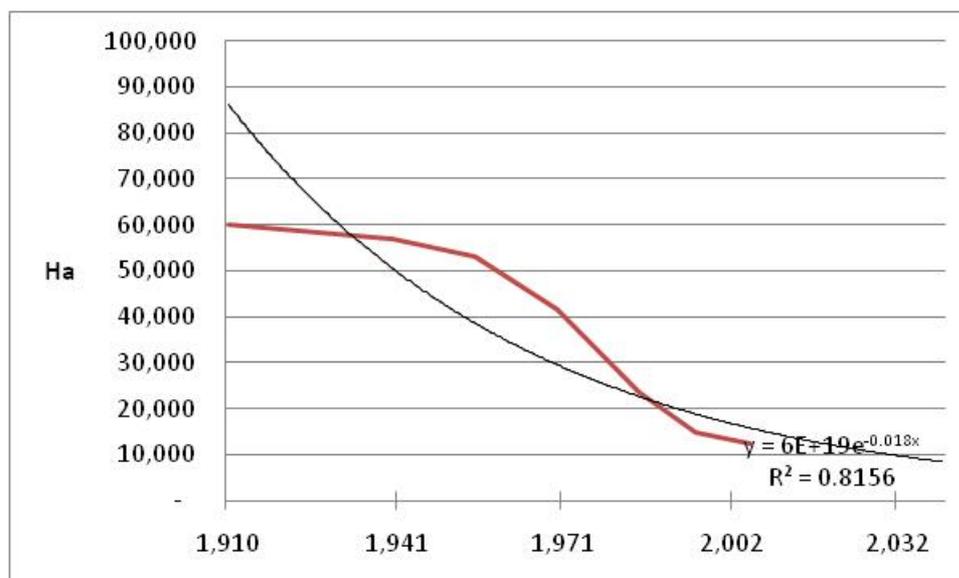


**Foto 1. Agricultura periurbana en Lima**

**Foto 2. Agricultura intraurbana en Lima**

De acuerdo a la evolución histórica de la superficie agrícola en Lima entre 1910 y 2005 mostrada en la figura 5, se ha podido establecer una línea de tendencia que proyecta alrededor de 8,000 ha para el 2040, tal como se aprecia en la figura 7.

**Figura 7. Proyección de la superficie agrícola de Lima para el 2040.**



*Fuente: elaboración propia.*

Por tanto las expectativas a futuro son que las áreas agrícolas periurbanas seguirían su tendencia decreciente por el avance urbano, aun cuando a partir de 1995 se muestre menor que en la décadas anteriores. Esta tendencia solo podría ser revertida si las instituciones responsables establecen políticas de protección y optan por un abastecimiento de agua de reuso. En ese sentido la MML acaba de declarar intangibles todas las áreas agrícolas que rodean la ciudad, política que se espera sea respetada en las próximas décadas.

## 8.2. Las áreas verdes públicas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda entre 10 a 15 metros cuadrados de espacios públicos por habitante, y específicamente **9 metros cuadrados de áreas verdes por habitante**. La OMS también sugiere el diseño de redes de áreas verdes urbanas, de tal manera que todos los residentes vivan cerca de un espacio abierto a una distancia de no más de 1.5 minutos a pie.

Para saber lo que sucede en Lima, la Dirección General de Estudios del Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) se ha propuesto realizar un inventario de las áreas verdes urbanas públicas, información que le permitirá proponer algunos alcances sobre la gestión municipal relacionadas al manejo y la preservación de estas áreas verdes, como una estrategia para mejorar el ambiente urbano y hacer nuestra ciudad más habitable, placentera y sostenible. Por tanto el objetivo de este estudio es identificar, evaluar y determinar el porcentaje de áreas verdes que tienen la ciudad, lo que permitirá saber si estamos cerca de los estándares internacionales para un hábitat saludable. Según el inventario avanzado hasta el momento por el IMP, de los 43 distritos de la Provincia de Lima (incluido el cercado), **solo 16 cuentan con información completa**. La información proporcionada por los distritos restantes ha sido parcial, ya que el trabajo de campo se encuentra aún en proceso. El cuadro 23 enumera las extensiones y áreas verdes de los 16 distritos evaluados por el IMP.

**Cuadro 23. Áreas verdes públicas de 16 distritos de Lima**

Distrito	Extensión por distrito (m <sup>2</sup> )	Area con cobertura verde (m <sup>2</sup> )	Area cementada (m <sup>2</sup> )	Area sin cobertura verde (m <sup>2</sup> )	Area total destinada para áreas verdes (m <sup>2</sup> )	Población censada al 2007	Area verde existente por habitante (m <sup>2</sup> )	Area verde potencial por habitante (m <sup>2</sup> )
<b>Cono norte</b>	<b>129,730,000</b>	<b>2,439,358</b>	<b>282,689</b>	<b>679,799</b>	<b>3,401,846</b>	<b>1,246,366</b>	<b>1.96</b>	<b>2.73</b>
Comas	48,750,000	553,418	235,094	79,799	868,311	486,977	1.14	1.78
Independencia	14,560,000	215,646	10,200	600,000	825,846	207,647	1.04	3.98
Los Olivos	17,250,000	1,298,672	9,760		1,308,432	318,140	4.08	4.11
Puente Piedra	49,170,000	371,622	27,635		399,257	233,602	1.59	1.71
<b>Centro</b>	<b>81,500,000</b>	<b>3,183,055</b>	<b>583,342</b>	<b>4,764</b>	<b>3,771,161</b>	<b>923,056</b>	<b>3.45</b>	<b>4.09</b>
Surquillo	4,600,000	205,510	62,002	4,764	272,276	89,283	2.30	3.05
Santiago de Surco	34,600,000	1,206,332	190,139		1,396,471	289,597	4.17	4.82
San Borja	10,380,000	497,580	69,516		567,096	105,076	4.74	5.40
La Victoria	9,130,000	368,031	43,690		411,721	192,724	1.91	2.14
San Miguel	9,590,000	390,745	78,633		469,378	129,107	3.03	3.64
San Isidro	9,710,000	386,429	91,204		477,633	58,056	6.66	8.23
San Luis	3,490,000	128,428	48,158		176,586	59,213	2.17	2.98
<b>Cono Este</b>	<b>252,720,000</b>	<b>1,183,271</b>	<b>77,799</b>	<b>100,000</b>	<b>1,361,070</b>	<b>432,711</b>	<b>2.73</b>	<b>3.15</b>
El Agustino	12,640,000	420,013	9,200		429,213	180,262	2.33	2.38
Cieneguilla	226,520,000	89,139	-		89,139	26,725	3.34	3.34
Chaclacayo	2,800,000	221,983	-		221,983	41,110	5.40	5.40
Santa Anita	10,760,000	452,136	68,599	100,000	620,735	184,614	2.45	3.36
<b>Cono Sur</b>	<b>22,470,000</b>	<b>1,725,202</b>	<b>6,800</b>	<b>-</b>	<b>1,732,002</b>	<b>362,643</b>	<b>4.76</b>	<b>4.78</b>
San Juan de Miraflores	22,470,000	1,725,202	6,800		1,732,002	362,643	4.76	4.78
<b>Total</b>	<b>486,420,000</b>	<b>8,530,886</b>	<b>950,630</b>	<b>784,563</b>	<b>10,266,079</b>	<b>2,964,776</b>	<b>2.88</b>	<b>3.46</b>

Fuente: IMP, 2010

En primer lugar podemos observar que en esta muestra representativa de la ciudad, las coberturas actual y potencial de áreas verdes en promedio son de 2.88 y 3.46 m<sup>2</sup>/hab. respectivamente, valores que constituyen la tercera parte de lo recomendado por la

OMS. Asimismo vemos que la ubicación por conos no marca una diferencia importante en la cobertura de áreas verdes por habitante, aun cuando podríamos decir que los distritos más antiguos ubicados en el Centro Consolidado parecerían tener mayor cobertura, sin embargo distritos más nuevos como San Juan de Miraflores muestran coberturas cercanas a 5 m<sup>2</sup>/habitante. Por otro lado vemos que el distrito con mayor cobertura es San Isidro, mientras que los más limitados en áreas verdes son Comas e Independencia, por tanto es más lógico pensar que la cobertura está más relacionada con el nivel económico de los distritos. El otro factor determinante es la fisiografía del distrito, ya que muchos de ellos tienen buena parte de su superficie bajo la forma de montañas (casos de Independencia, El Agustino, Chaclacayo) y desiertos (como los balnearios del norte y sur). En otros casos se trata de distritos ubicados en los valles (como Puente Piedra, Comas y Cieneguilla) y por tanto tienen un área agrícola que normalmente no es considerada como áreas verde aún cuando debiera. Por último la disponibilidad de agua termina siendo el factor más determinante para definir la cobertura de áreas verdes, ya que distritos como VES con amplia extensión de terrenos reservados para este uso, en la práctica no han sido implementados por la falta de agua para riego.

Aun cuando el inventario realizado por el IMP en 2010 aun no permita contar con toda la información de Lima, si es posible analizar estos datos para hacer una proyección a toda la ciudad. En tal sentido la forma más simple sería extrapolar las 853 ha verdes existentes en los 486 km<sup>2</sup> de los 16 distritos evaluados, a los 2,801 km<sup>2</sup> de superficie total de Lima Metropolitana, por tanto estimaríamos que la ciudad tendría 4,900 ha de áreas verdes actuales y 5,900 ha potenciales. Sin embargo estas cifras solo serían posibles si se tuviera igual espacio y disponibilidad de agua en todos los distritos, situación que no es real.

Por ello una **mejor aproximación se podría lograr agrupando los distritos según los niveles económicos de su población** y que pueden ser identificados por su densidad poblacional y cobertura verde. Sin embargo, algunos distritos escapan de esta clasificación general, que es más propicia para aquellos ubicados en la zona plana de la ciudad, por tanto se debe considerar otros grupos de distritos cuyos territorios están constituidos por áreas ubicadas en los valles con zonas agrícolas, mientras que otros tienen áreas montañosas no habitables, y un último grupo son los balnearios del norte y sur de Lima, que tiene gran parte de su territorio como áreas desérticas sin acceso a fuentes naturales de agua.

El cuadro 24 se ha elaborado con la información sobre la superficie y población de los 49 distritos que conforman Lima Metropolitana, distribuidos en seis grupos de acuerdo a los niveles económicos de su población y sus características fisiográficas, de la forma siguiente:

- **Nivel económico alto:** de 2,000 a 10,000 hab/km<sup>2</sup> y con una cobertura verde mayor de 4 m<sup>2</sup>/habitante.
- **Nivel económico medio:** de 10,000 a 17,000 hab/km<sup>2</sup> y preferentemente con una cobertura verde entre 2 y 4 m<sup>2</sup>/habitante.
- **Nivel económico bajo:** más de 17,000 hab/km<sup>2</sup> y preferentemente con una cobertura verde menor a 2 m<sup>2</sup>/habitante.
- **Con áreas montañosas:** de nivel económico bajo y medio, pero con menores densidades poblacionales (2,000-17,000 hab/km<sup>2</sup>) debido a que su territorio posee importantes áreas montañosas no habitables.

- **Con zonas agrícolas:** abarcan parcialmente algún valle y por tanto tienen una zona agrícola importante. Algunos tienen densidades poblacionales muy bajas (menores a 2,000 hab/km<sup>2</sup>), por la dispersión de sus habitantes en la zona agrícola y también por la presencia de áreas montañosas no habitables.
- **Balnearios con zonas áridas:** conformados por los siete balnearios ubicados al norte (2) y sur (5) de Lima, con muy baja densidad de población permanente (menos de 500 hab/km<sup>2</sup>) y zonas áridas muy amplias no habitadas. Su principal limitación es la falta de fuentes naturales de agua.

**Cuadro 24. Proyección de áreas verdes urbanas en los distritos de Lima Metropolitana en función a niveles económicos y tipo de fisiografía**

Distrito	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población (hab)	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	Cobertura área verde (m <sup>2</sup> /hab)		Área verde (ha)		Fuente
				Actual	Potencial	Actual	Potencial	
<b>Nivel económico alto :</b>	<b>121.97</b>	<b>569,586</b>	<b>4,670</b>	<b>4.61</b>	<b>5.39</b>	<b>262.86</b>	<b>307.65</b>	
La Molina	65.75	132,498	2,015			61.15	71.41	
San Isidro	11.10	58,056	5,230	6.66	8.23	38.67	47.78	IMP, 2010
La Punta	0.75	4,370	5,827	6.93	6.93	3.03	3.03	IMP, 2008
Santiago de Surco	34.75	289,597	8,334	4.17	4.82	120.76	139.59	IMP, 2010
Miraflores	9.62	85,065	8,843			39.26	45.85	
<b>Nivel económico medio:</b>	<b>66.60</b>	<b>888,475</b>	<b>13,340</b>	<b>3.35</b>	<b>3.86</b>	<b>297.71</b>	<b>351.20</b>	
Barranco	3.33	33,903	10,181	2.17		7.36	13.07	IMP, 2008
San Borja	9.96	105,076	10,550	4.74	5.40	49.81	56.74	IMP, 2010
San Miguel	10.72	129,107	12,044	3.03	3.64	39.12	46.99	IMP, 2010
Cercado de Lima	21.98	299,493	13,626			100.36	115.46	
Jesús María	4.57	66,171	14,479			22.17	25.51	
Magdalena del Mar	3.61	50,764	14,062			17.01	19.57	
San Luis	3.49	54,634	15,654	2.17	2.98	11.86	16.28	IMP, 2010
Bellavista	4.56	75,163	16,483			25.19	28.98	
Pueblo Libre	4.38	74,164	16,932			24.85	28.59	
<b>Nivel económico bajo:</b>	<b>34.01</b>	<b>707,333</b>	<b>20,798</b>	<b>1.80</b>	<b>2.80</b>	<b>127.51</b>	<b>197.83</b>	
Santa Anita	10.69	184,614	17,270	2.45	3.36	45.23	62.03	IMP, 2010
Lince	3.03	55,242	18,232	0.60		3.31	15.45	IMP, 2008
Carmen de la Legua	2.12	41,863	19,747			7.55	11.71	
Surquillo	3.46	89,283	25,804	2.30	3.05	20.54	27.23	IMP, 2010
La Victoria	8.74	192,724	22,051	1.91	2.14	36.81	41.24	IMP, 2010
La Perla	2.75	61,698	22,436			11.12	17.26	
Breña	3.22	81,909	25,438	0.36		2.95	22.91	IMP, 2008
<b>Con áreas montañosas:</b>	<b>470.47</b>	<b>2,925,251</b>	<b>6,218</b>	<b>1.50</b>	<b>3.44</b>	<b>439.96</b>	<b>1,007.40</b>	
Chaclacayo	39.50	41,110	1,041	5.40	5.40	22.20	22.20	IMP, 2010
Ventanilla	73.52	277,895	3,780			41.80	95.70	
Villa María del Triunfo	70.57	378,470	5,363			56.92	130.34	
San Juan de Lurigancho	131.25	898,443	6,845	1.37		123.09	309.41	IMP, 2008
Chorrillos	38.94	286,977	7,370			43.16	98.83	
Ate	77.72	478,278	6,154			71.93	164.71	
Independencia	14.56	207,647	14,261	1.04	3.98	21.60	82.64	IMP, 2010
El Agustino	12.54	180,262	14,375	2.33	2.38	42.00	42.90	IMP, 2010
Rimac	11.87	176,169	14,842	0.98		17.26	60.67	IMP, 2008
<b>Con zonas agrícolas:</b>	<b>1,445.21</b>	<b>3,319,452</b>	<b>2,297</b>	<b>2.52</b>	<b>3.08</b>	<b>835.98</b>	<b>1,231.97</b>	
Cieneguilla	240.33	26,725	111	3.34	3.34	8.93	8.93	IMP, 2010
Lurin	181.12	62,940	348	0.78		4.91	19.38	IMP, 2008
Pachacámac	160.23	68,441	427	0.25		1.71	21.07	IMP, 2008
Carabayllo	346.88	213,386	615			53.74	65.69	
Lurigancho-Chosica	236.47	169,359	716			42.65	52.14	
Puente Piedra	71.18	233,602	3,282	1.59	1.71	37.14	39.95	IMP, 2010
Callao	45.65	415,888	9,110			104.74	128.04	
Comas	48.75	486,977	9,989	1.14	1.78	55.52	86.68	IMP, 2010
Villa El Salvador	35.46	381,790	10,767	2.05	8.58	78.27	327.58	IMP, 2008
San Juan de Miraflores	23.98	362,643	15,123	4.76	4.78	172.62	173.34	IMP, 2010
San Martín de Porras	36.91	579,561	15,702			145.96	178.42	
Los Olivos	18.25	318,140	17,432	4.08	4.11	129.80	130.76	IMP, 2010
<b>Con zonas áridas - balnearios:</b>	<b>663.37</b>	<b>72,522</b>	<b>109</b>	<b>6.68</b>	<b>8.58</b>	<b>48.44</b>	<b>62.22</b>	
Santa María del Mar	9.81	161	16	6.68		0.11	0.14	IMP, 2008
Punta Negra	130.50	5,284	40			3.53	4.53	
Punta Hermosa	119.50	5,762	48			3.85	4.94	
Ancón	299.22	33,367	112			22.29	28.63	
San Bartolo	45.01	6,412	142			4.28	5.50	
Pucusana	37.83	10,633	281			7.10	9.12	
Santa Rosa	21.50	10,903	507			7.28	9.35	
<b>Total Lima Metropolitana</b>	<b>2,801.63</b>	<b>8,482,619</b>	<b>3,028</b>	<b>2.37</b>	<b>3.72</b>	<b>2,012.46</b>	<b>3,158.27</b>	

Fuente: IMP, 2008, IMP, 2010 y elaboración propia

A este cuadro 24 se han incorporado los valores de cobertura verde actual y potencial (m<sup>2</sup>/hab) de 26 distritos obtenidos del **Atlas Ambiental de Lima 2008 y del Inventario del IMP 2010** (remarcados en celeste). Estos datos han permitido calcular un **promedio ponderado** que luego ha sido aplicado a los demás distritos sin información de cada grupo, para lograr proyectar las áreas verdes actuales y potenciales de cada uno de los 49 distritos de Lima Metropolitana.

Esta segunda proyección es más precisa e indica que la ciudad tendría **actualmente más de 2,000 ha de áreas verdes públicas**, valor que solo representa el 50% de la primera aproximación. Igualmente permite estimar que la ciudad **podría incrementar sus áreas verdes hasta casi 3,200 ha** si se habilitan las áreas potenciales para tal fin. Por supuesto que **estas cifras deberán ser confirmadas cuando se concluya el inventario completo de Lima y Callao**, porque algunas publicaciones como el Atlas Ambiental de Lima hablan que en 2005 solo habían 1,200 ha de áreas verdes establecidas, mientras que otras 600 ha destinadas para el mismo propósito demandan una urgente intervención para evitar que sean invadidas o destinadas a otros uso. Entendemos que esta situación al 2005 está cambiando significativamente en los últimos años, ya que el avance del inventario de IMP indica para el 2010 que en solo 16 distritos evaluados ya existen 853 ha, por tanto es un hecho que la extensión de áreas verdes se ha incrementado considerablemente en los últimos años.

De aceptarse estas cifras estimadas en el cuadro 24, la cobertura actual de áreas verdes en Lima sería de 2.37 m<sup>2</sup>/hab y la potencial de 3.72 m<sup>2</sup>/hab, valores que representan el 26 y 41% respectivamente de los recomendado por la OMS y por tanto la ciudad deberá hacer un esfuerzo por **añadir áreas verdes especiales** que eleven esta cobertura.

Las **áreas verdes vecinales** de Lima son administradas por los municipios distritales, razón por la cual se encuentra más cobertura y mejor mantenimiento en los distritos de nivel económico más alto. Sin embargo, la Municipalidad Metropolitana de Lima, además de manejar los parques vecinales del Cercado, también administra el Sistema Metropolitano de Recreación Pública conformado por **parques metropolitanos y zonales** ubicados en diferentes distritos.

El **Servicio de Parques** (SERPAR), Empresa Pública de la Municipalidad Metropolitana de Lima, administra 8 parques zonales y 8 parques metropolitanos, que juntos abarcan alrededor de 228 ha habilitadas. Otros tres parques zonales son administrados por el Instituto Nacional del Deporte (IPD) y la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres. A estos se pueden añadir otros 10 parques especiales que ocupan 1,031 ha habilitadas y son manejados por Patronatos (Parque Las Leyendas), Autoridades Municipales especialmente asignadas para tal fin (Pantanos de Villa), el Ministerio de Vivienda y municipios distritales. Los parques zonales manejados por SERPAR también son llamados clubes y están ubicados en diferentes distritos para ofrecer a la comunidad servicios de recreación y deportes, constituyendo un excelente ejemplo de administración eficiente para brindar un buen servicio público.

El cuadro 25 constituye un consolidado de la información levantada sobre los llamados parques zonales y metropolitanos, así como de otros parques y áreas verdes especiales que existen en la ciudad. Este cuadro también incluye las áreas totales de estos parques y la superficie de estas que han sido habilitadas para propósitos recreativos y ambientales.

**Cuadro 25. Parques metropolitanos y zonales de Lima**

No.	Nombre	Distrito	Área total	Área habilitada	Administra
			(Ha)	(Ha)	
<b>Parques zonales:</b>			<b>347.85</b>	<b>230.28</b>	
1	Manco Capac	Carabayllo	6.00	6.00	SERPAR
2	Sinchi Roca	Comas	54.38	54.38	SERPAR
3	Cahuide	El Agustino	69.00	17.80	SERPAR
4	Lloque Yupanqui	Los Olivos	9.11	9.11	SERPAR
5	Capac Yupanqui	Rimac	3.30	3.30	SERPAR
6	Wiracocha	S.J. Lurigancho	23.47	13.00	SERPAR
7	Huayna Capac	S.J. Miraflores	56.00	56.00	SERPAR
8	Huascar	Villa El Salvador	77.59	21.69	SERPAR
9	Yahuar Huaca	Callao	19.00	19.00	IPD
10	Tupac Amaru-Videna	San Luis	24.00	24.00	IPD
11	Mayta Capac	S.M. Porres	6.00	6.00	M.SM Porres
<b>Parques metropolitanos:</b>			<b>62.55</b>	<b>46.85</b>	
1	Alameda Las Malvinas	Cercado	3.20	3.20	SERPAR
2	Parque de la Exposición	Cercado	12.00	12.00	SERPAR
3	Parque Universitario	Cercado	1.20	1.20	SERPAR
4	Parque La Muralla	Cercado	6.70	6.70	SERPAR
5	Los Soldados del Perú	Cercado	0.20	0.20	SERPAR
6	Coronel Miguel Baquero	Cercado	0.25	0.25	SERPAR
7	Parque Los Anillos	Ate-Vitarte	8.00	3.30	SERPAR
8	Santa Rosa	Santa Rosa	31.00	20.00	SERPAR
<b>Parques Especiales:</b>			<b>1,292.40</b>	<b>1,031.40</b>	
1	Reserva-Circuito del Agua	Cercado	7.50	7.50	MML
2	Campo Marte	Jesús María	53.00	53.00	MML
3	Las Layendas	San Miguel	110.00	70.00	Patronato
	Los Olivares	San Isidro	10.00	10.00	MSI
4	Parque 23	S.J. Miraflores	8.90	8.90	MVCS
5	Parque 26	Villa El Salvador	34.00	34.00	MVCS
6	Antonio Raymondi	El Agustino-Ate	210.00	210.00	MML
7	Club del Pueblo	S.J. Lurigancho	15.00	15.00	MML
8	Andrés Avelino Cáceres	V.M. del Triunfo	22.00	13.00	MML
9	Pantanos de Villa	Chorrillos	244.00	244.00	Autoridad
10	Pantanos de Ventanilla	Ventanilla	578.00	366.00	M.Ventanilla
<b>TOTAL PARQUES PÚBLICOS</b>			<b>1,702.80</b>	<b>1,308.53</b>	

Fuentes: Atlas Ambiental de Lima, 2008 y SERPAR, 2011.

Este cuadro nos permite deducir que existen **1,700 ha** de la ciudad reservadas para grandes parques públicos (zonas y metropolitanos), de las cuales el **77% se encuentran habilitadas para ofrecer servicios recreativos y ambientales**. Aún cuando no sea muy lógico, asumimos que estos parques **no han sido incluidos en el cálculo de las coberturas verdes calculadas anteriormente para cada distrito**, toda vez que estos no son administrados directamente por sus municipios, por tanto entendemos que esta área

sería adicional a la extensión estimada para los distritos. En ese sentido la cobertura de áreas verdes actual se elevaría a 3.85 m<sup>2</sup>/habitante.

Tal como se aprecia en la figura 7, en el territorio conformado por las provincias de Lima y el Callao existen una serie de **ecosistemas verdes naturales** que deberían ser considerados como partes de las áreas verdes, tales como las **lomas costeras** (Carabaylo, Amancaes, Atocongo, Manchay, etc.) y los **humedales costeros** de Ventanilla y Villa, sin embargo solo los últimos han sido incluidos en el cuadro anterior.

**Figura 7. Mapa de ubicación de los humedales de Ventanilla y Villa**



*Fuente: Atlas Ambiental de Lima, 2008.*

Los **Pantanos de Villa** se ubican en el sector sur del cono deyectivo de la cuenca del río Rímac en el distrito de Chorrillos. Inicialmente esta área verde natural tenía 396 ha, pero una parte fue luego destinada a ciertas actividades residenciales y clubes de esparcimiento privados. Por ello y recién desde 1977 fue declarado Parque Zonal Metropolitano y administrado por la Municipalidad Metropolitana de Lima, primero a través del Servicio de parque y luego por la Autoridad Municipal de Los Pantanos de Villa. Finalmente en el 2000 se estableció el perímetro y la zona de amortiguamiento de las **244 ha** que actualmente conforman la Zona Reservada Los Pantanos de Villa, cifra que muestra una reducción de 39% del área original.

Los **Pantanos de Ventanilla** tienen una extensión de **366 ha** y están integrados al Área Ecológica Intangible de 578 ha ubicada al norte de Lima en el distrito de Ventanilla (Callao). En esta zona intangible se incluye una pampa y dos cerros, además del pantano. También en este caso existen una serie de actividades antropogénicas, como urbanizaciones informales, áreas agrícolas y botaderos de basura, que están afectando y reduciendo este importante recurso natural. Por tanto merece un trato similar al que actualmente se le dedica a los Pantanos de Villa.

### 8.3. Las áreas verdes privadas

A las áreas verdes públicas antes detalladas se puede añadir un grupo de áreas verdes que conforman 15 clubes privados existentes en la ciudad y que juntos hacen 406 ha. Si bien estos espacios privados están destinados a actividades recreativas y deportivas, una gran parte de sus terrenos se manejan como áreas verdes.

**Cuadro 26. Áreas verdes privadas de Lima**

No.	Nombre	Distrito	Área (ha)
1	Country Club Villa	Chorrillos	65.00
2	Los Incas Golf	Surco	55.00
3	Campo Mar-U	VES	52.00
4	Lima Golf Club	San Isidro	49.00
5	Country Club La Planicie	La Molina	36.00
6	Country Club El Bosque	Lurigancho	32.00
7	Club Cultural Lima	Chorrillos	31.00
8	Golf Club Los Andes	Lurigancho	30.00
9	Club El Remanso	Lurigancho	11.00
10	Granja Azul Country Club	Ate	11.00
11	Club Regatas	Chorrillos	9.00
12	AELU	Pueblo Libre	9.00
13	Touring Automovil Club	VES	8.00
14	Lawn Tennis	Cercado	5.00
15	Lima Cricket	Magdalena	3.00
<b>TOTAL PRIVADOS</b>			<b>406.00</b>

*Fuente: INAPMAS, 1998 y De Rivero, 2009.*

Al igual que los parques zonales y metropolitanos, es muy probable que estas **áreas verdes privadas no se hayan incluido en el cálculo de las áreas verdes distritales** (cuadro 24) porque no los manejan las dependencias municipales de Parques y Jardines, salvo que el IMP haya efectuado el cálculo con imágenes satélites. En el caso de no haberse incluido estas áreas verdes podrían incrementar la cobertura de la ciudad a 4.39 m<sup>2</sup>/habitante.

### 8.4. Proyectos Especiales de Áreas verdes Metropolitanas

Además de la lista de parques zonales y metropolitanos antes descrita, el Atlas Ambiental de Lima incluye un grupo de áreas verdes que **la ciudad tiene proyectado implementar** en los próximos años y que figuran en el primer grupo de 8 proyectos citados en el cuadro

27. Desafortunadamente no se ha obtenido información específica de estos casos, salvo los datos de áreas establecidas por el IMP en un cuadro de parques metropolitanos y zonales, por tanto se asume que se trata de áreas ya reservadas para ser implementadas por la Municipalidad Metropolitana de Lima.

**Cuadro 27. Proyectos Especiales de Áreas Verdes para Lima**

No.	Nombre	Distrito	Área (ha)
1	El Bosque	Cieneguilla	65.00
2	Cajamarquilla	Lurigancho	131.00
3	Santa María	Santa María	280.00
4	Huaycan	Ate	49.00
5	Canto Grande	S.J. Lurigancho	11.00
6	Villa El Salvador	Villa El Salvador	59.00
7	José Galvez	V.M. del Triunfo	16.00
8	Valle Verde- Río Lurín	Lurín	240.00
9	Parque Lineal Río Rimac	Cercado-Rimac	25.00
10	Parque Lineal Río Chillón	S.M. Porres	125.00
11	Costa Verde	Varios	105.00
12	Parque Morro Solar	Chorrillos	400.00
13	San Bartolo	Varios	1,600.00
14	Piedras Gordas	Ancón	1,200.00
<b>Proyectos Especiales:</b>			<b>4,306.00</b>

*Fuentes: Atlas Ambiental de Lima 2008 y elaboración propia.*

El último caso de este grupo conocido como Proyecto **Valle Verde** es una iniciativa de las Municipalidades Distritales de la cuenca del río Lurín y pretende convertir este valle en un gran parque arqueológico, cultural, turístico y ecológico. Esta iniciativa esta manejada por el Patronato Valle Verde que es conformado por los 12 distritos integrantes de la cuenca del Valle Lurín y otras instituciones públicas y privadas. El área de 240 ha se ha tomado del Atlas Ambiental de Lima.

A esta lista del cuadro 27 se suman al final otros seis proyectos que en los últimos años son considerados dentro de los planes de desarrollo de Áreas Verdes de la Municipalidad Metropolitana de Lima y de algunos municipios distritales.

El **Parque Lineal del río Rímac** está considerado como parte de una alianza público – privada denominada “Vía Parque Rímac”, que permitirá implementar una vía expresa entre el Cono Este y el Callao. Este Proyecto comprende los componentes Línea Amarilla y **Río Verde**, incluyendo el último una zona urbana con parques y servicios comunales, que contempla la creación de **25 ha de áreas verdes** y que implica la recuperación y habilitación de un tramo de la rivera del río Rímac.

Más recientemente la Municipalidad de San Martín de Porras ha tomado la iniciativa de elaborar una propuesta para la constitución de un **Parque Lineal del río Chillón** que

podría recuperar alrededor de **125 ha** en las riberas de ese recurso hídrico, ya que parte de ese terreno se encuentra actualmente reservado para tal fin. Sabemos que la Municipalidad Metropolitana de Lima y otras instituciones públicas y privadas han sido convocadas para apoyar la elaboración del Proyecto; entre ellas se encuentra incluido el Proyecto LIWA.

La **Costa Verde** es una franja del litoral metropolitano de Lima que tiene una longitud de 25 km desde San Miguel hasta la Punta de La Chira en Chorrillos, 21 km de la vía denominada el Circuito de Playas y 15 playas en Chorrillos, Barranco y Miraflores que albergan 350,000 personas diariamente en la temporada de verano. Este espacio ha recibido en los últimos años un trato especial por parte de algunos municipios distritales como Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena y San Miguel. Durante las últimas décadas ha recibido todo los desmontes de construcción de la ciudad, que luego de su nivelación han permitido ganar importantes áreas al mar. Inicialmente se han desarrollado sobre estos espacios algunas zonas deportivas rodeadas de áreas verdes y luego se ha comenzado a implementar un malecón con jardines en algunos tramos de la vía. Actualmente esta franja litoral constituye el ámbito de la Autoridad del Proyecto Costa Verde, que es el órgano jurisdiccional de más alto nivel administrativo para promover, ordenar y supervisar su desarrollo integral y sostenido, en coordinación con la MML, los municipios ribereños mencionados y otras instituciones públicas y privadas involucradas con ella. La MML actualmente tiene mucho interés en concertar con estos municipios el desarrollo de las áreas verdes proyectadas desde hace muchos años, por lo que estimamos se podría habilitar parques lineales en aproximadamente **105 ha**.

Merece especial atención la **Zona Intangible del Morro Solar** ubicada en Chorrillos al final de la Costa Verde. Esta zona esta conformada por **400 ha** de las lomas de La Herradura, Marcavilca y la Chira, que desde hace una década se intentó privatizar para habilitar un gran complejo habitacional, pero que ahora se pretende destinar a un gran parque monumental y ecológico. Esta zona podría ser irrigada con las aguas residuales que serán tratadas en la planta de La Chira contigua.

Desde 1997 en que se formuló el Proyecto MESIAS para implementar tres plantas de tratamiento en el Sur de Lima, se definió como objetivo ubicar una de estas plantas en las **Pampas de San Bartolo** con capacidad para tratar 1,700 l/s para regar un Entorno Verde de 8,000 ha. La planta que fue concluida en el 2002, recién ha operado en el 2008 y solo está tratando 834 l/s que permitirá regar no más de **1,600 ha**. Al momento Sedapal ha implementado una pequeña extensión de áreas verdes alrededor de la planta y está entregando agua tratada a algunos propietarios de terrenos cercanos que apenas comienzan a aprovechar este valioso recurso. La MML contempla que esta zona de San Bartolo será parte de la futura expansión de la ciudad, por tanto desde ya debe contemplar un desarrollo ambiental conceptualizado en la visión llamada "Las Nuevas Limas".

Dentro de la misma visión se prevé que las **Pampas de Ancón** también formarán parte de esta expansión urbana, por tanto se estima que podría permitir el desarrollo de **1,200 ha** de áreas verdes en los terrenos comprendidos entre Piedras Gordas y el Pasamayo. Actualmente existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por el Ministerio de Defensa para irrigar un área verde piloto. Se espera que el abastecimiento adicional de agua potable de la Planta de Huachipa al Cono Norte de Lima favorezca el

manejo de mayor caudal en estas plantas de aguas residuales, lo que permitiría desarrollar las áreas verdes de Ancón.

### 8.5. Consolidado de áreas verdes actuales y potenciales de Lima

Si aceptamos que la agricultura periurbana también constituye parte de las áreas verdes que tiene la ciudad, podríamos estimar que actualmente Lima Metropolitana cuenta con más de **16,400 ha de áreas verdes productivas y recreativas**, tal como se puede observar en el cuadro 28. Esta cifra permitiría hablar de un incremento de **la cobertura de áreas verdes de 4.39 a 19.34 m<sup>2</sup>/habitante**, sin embargo es evidente que las zonas agrícolas aportan oxígeno y retienen CO<sub>2</sub>, pero no constituyen espacios recreativos para la población.

**Cuadro 28. Áreas verdes actuales y potenciales de Lima**

Área	Actual (ha)	Potencial (ha)
Agricultura periurbana	12,680	8,000
Áreas verdes vecinales	2,012	3,158
Parques metropolitanos	1,309	1,703
Áreas verdes privadas	406	406
Proyectos Especiales		4,306
<b>Total</b>	<b>16,407</b>	<b>17,573</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Estas áreas verdes podrían alcanzar casi la **17,600 ha** si se lograra implementar las áreas potenciales y los proyectos especiales antes descritos, pero este valor no es muy superior al actual, debido a que se está asumiendo una importante **reducción de la actividad agrícola de 12,680 a 8,000 ha** en las próximas décadas. Asumiendo que Lima llegará al 2040 con esta superficie de áreas verdes, podemos estimar que la **cobertura (áreas verdes + agricultura) sería de 13.71 m<sup>2</sup>/habitante**, y sin incluir la agricultura llegaría a 7.47 m<sup>2</sup>/habitante. Es cierto que esta futura situación reduciría la cobertura total de 19 a 14 m<sup>2</sup>/habitante, pero mejoraría la referida específicamente a las áreas verdes recreativas que actualmente se dispone de 4.39 a 7.47 m<sup>2</sup>/habitante.

### 8.6. Acceso actual a la demanda de agua para riego

El 75% del agua disponible en la ciudad se destina al uso poblacional, seguido por la agricultura con 22% y el resto se utiliza en actividades industriales y mineras (INRENA, 2005). El caudal promedio mensual histórico de los ríos Rímac, Lurín y Chillón que atraviesan la ciudad de Lima es en conjunto de 39 m<sup>3</sup>/s, de los cuales el Rímac aporta 29.5 m<sup>3</sup>/s (SENAMHI, 2005), el Chillón 5.1 m<sup>3</sup>/s (SENAMHI, 2005), y el Lurín 4.5 m<sup>3</sup>/s (INRENA, 2005). El agua utilizada para **agricultura periurbana** es distribuida por las **Juntas de Usuarios** de los tres ríos entre los agricultores asociados en diferentes **Comisiones de Regantes**. Este proceso se lleva a cabo en coordinación con la **Autoridad Local del Agua y la Administración Técnica del Distrito de Riego Rímac- Chillón- Lurín**, responsable del uso de agua para riego.

Si se aplica una tasa cercana a 1 l/s.ha que normalmente demanda el tipo de riego por surcos en la costa central peruana, las actuales **12,680 ha agrícolas** ubicadas en las zonas

peri urbanas de Lima serían abastecidas con aproximadamente **12 m<sup>3</sup>/s de aguas superficiales de los tres ríos** mencionados. Solo 470 ha de estas utilizan aguas residuales crudas en la época de estiaje, ya que se encuentran ubicadas en el tramo final del río Rímac y después de la Planta La Atarjea que capta casi todo el caudal existente en la época de estiaje. Otras 305 ha agrícolas ubicadas en zonas sin acceso a fuentes naturales de agua son regadas exclusivamente con aguas residuales tratadas. Estas condiciones permiten decir que definitivamente el acceso futuro al agua será cada vez más limitado, ya que la demanda urbana continua creciendo y por tanto es muy posible que se sigan reduciendo las áreas agrícolas, a menos que se sustituya el agua de río por agua residual tratada.

Por otro lado el riego de las pequeñas experiencias de **agricultura intraurbana** tienen como fuente principal el **agua potable**, situación que limita mucho esta pujante actividad y que podría detener radicalmente su desarrollo, a menos que se opte por reusar las aguas grises de las viviendas o se destinen parte de las aguas residuales previamente tratadas al riego de las parcelas comunitarias de mayor tamaño.

En los 37 casos de **reuso de aguas residuales** inventariados en el 2008 por el Proyecto SWITCH Lima se pudo deducir que en ellos se aplica una tasa de riego de 1.50 l/s.ha, gasto que puede ser considerado excesivo, que está directamente relacionado con la buena disponibilidad de las aguas residuales tratadas o sin tratar en esas zonas y que finalmente favorece un riego por gravedad bajo la modalidad de inundación (melgas) o surcos. El cuadro 29 muestra los diferentes tipos de riego utilizados en este estudio.

**Cuadro 29. Tipos de riego utilizados en las experiencias de Lima**

<b>Tipo de riego</b>	<b>casos</b>	<b>Porcentaje</b>
Gravedad por inundación	7	28%
Gravedad por surcos	7	28%
Gravedad tecnificado (multicompuestas)	1	4%
Tecnificado por aspersión	7	28%
Tecnificado por goteo	3	12%
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>100%</b>

*Fuente: IPES, 2007*

Tomando en cuenta las condiciones áridas de Lima (clima, suelo y otros factores), se estima que el requerimiento de agua para un sistema de riego por gravedad no debería exceder 1 l/s.ha, por tanto si se hiciera un uso más eficiente del agua, el caudal disponible de aguas residuales tratadas podría abastecer un 50% más del área actualmente regada.

Las **áreas verdes recreativas** con coberturas tipo gras normalmente se riegan por inundación, mientras que para regar árboles y arbustos más se utiliza el riego por aspersión mediante mangueras. El cuadro 29 indica la demanda de agua estimada para los parques que administra SERPAR y que nos permiten deducir que estas áreas verdes municipales están demandando alrededor de 0.6 l/s.ha, valor significativamente menor que el usado para el riego agrícola con aguas residuales, debido al alto costo del agua

utilizada en este caso, ya sea porque es potable o agua de pozo transportada por camiones cisterna desde lugares alejados.

**Cuadro 29. Demanda de agua para el riego de los parque administrados por SERPAR**

Nombre	Área (ha)	Demanda de agua	
		(m <sup>3</sup> /día)	(m <sup>3</sup> /año)
<b>Parques Metropolitanos:</b>	<b>31.05</b>	<b>1,608.50</b>	<b>587,103</b>
Parque de la Exposición	12.00	622	227,030
Parque Los Anillos	8.00	415	151,475
Alameda Las Malvinas	2.70	140	51,100
Parque Universitario	1.20	62	22,630
Parque Los soldados del Perú	0.20	10	3,650
Parque Miguel Baquero	0.25	13	4,563
Parque La Muralla	6.70	347	126,655
<b>Parques Zonales (Clubes):</b>	<b>251.30</b>	<b>13,027.00</b>	<b>4,754,855</b>
Manco Capac	6.00	311	113,515
Sichi Roca	47.00	2,436	889,140
Lloque Yupanqui	7.00	363	132,495
Capac Yupanqui	3.30	171	62,415
Cahuide	69.00	3,577	1,305,605
Huascar	44.00	2,281	832,565
Huayna Capac	14.60	757	276,305
Huiracocha	29.40	1,524	556,260
Santa Rosa	31.00	1,607	586,555
<b>TOTAL SERPAR</b>	<b>282.35</b>	<b>14,635.50</b>	<b>5,341,958</b>

Fuente: SERPAR, 2011.

Aplicando la tasa de riego de 0.60 l/s.ha para los **698 ha de parques zonales y metropolitanos** listados en el cuadro 25 (sin incluir los pantanos), podemos estimar que estas áreas verdes tienen un gasto actual de casi **420 l/s**. Sin embargo, esta misma tasa no podría ser aplicada a las otras 2,020 ha de áreas verdes vecinales existentes en Lima y mencionadas en el cuadro 24, ya que tenemos referencia que la Junta de Usuarios del río Surco (recurso captado del río Rímac) abasteció en el 2010 un total de 1,122 ha de áreas verdes de la ciudad con aproximadamente 1,100 l/s, lo que establece una tasa de riego de 1 l/s.ha. Por tanto asumiremos que de las **2,020 ha de parques vecinales actualmente se utilizan 1,100 l/s para las 1,122 ha regadas con el río Surco y que las otras 890 ha se riegan con 515 l/s de agua potable y subterránea** (ofertados por camiones cisternas) y **20 l/s de aguas residuales tratadas**.

A estas cifras se debe sumar el riego de las **406 ha de áreas verdes privadas** y que se estima utilizarían otros **245 l/s de agua potable, subterránea y residual**.

Como se aprecia en el cuadro 30, en suma Lima actualmente estaría gastando **2,300 l/s para el riego de sus áreas verdes recreativas**, caudal atendido por **1,100 l/s del río Surco**,

**100 l/s directamente del río Rímac y otros 400 l/s de las plantas de tratamiento de aguas residuales** que riegan 378 ha (Proyecto SWITCH-Lima). Por tanto quedaría claro que los **restantes 700 l/s deben ser atendidos con agua potable o de pozo**, valioso recurso que no se estaría destinando como se debiera, para el consumo de la población de la ciudad.

**Cuadro 30. Consumo actual de agua para el riego de áreas verdes productivas y recreativas de Lima**

Área	Río	Potable y subt.	Residual	Total
Agricultura periurbana	12,000		1,200	13,200
Áreas verdes	1,200	700	400	2,300
Áreas verdes vecinales	1,100	515	20	1,635
Parques metropolitanos		90	330	420
Áreas verdes privadas	100	95	50	245
<b>Total</b>	<b>13,200</b>	<b>700</b>	<b>1,600</b>	<b>15,500</b>

*Fuente: elaboración propia.*

A esta cifra se debe añadir los 13,200 l/s utilizados en la agricultura periurbana, de los cuales 12,000 l/s son captados de los ríos, mientras que los 1,200 l/s restantes proceden 50% de los desagües crudos y 50% de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

### 8.7. Costos del agua para riego

Como se ha comentado en el punto anterior existen cinco diferentes fuentes de agua para el riego agrícola y de las áreas verdes de la ciudad: ríos, canales de riego, red pública de agua potable, agua de pozo transportada por camiones cisterna y plantas de tratamiento de agua residual.

La tarifa del **agua de río** es establecida por las Juntas de Usuarios de los ríos en función al costo de operación y mantenimiento de la infraestructura de distribución desarrollada en cada caso. Así la Junta de Usuarios del Sub distrito del Rímac está cobrando en promedio **US\$ 0.01/m<sup>3</sup>** (Memoria 2010).

En el caso de la Comisión de Regantes del Subsector de Riego Surco se tendría que añadir los costos específicos de un pre-tratamiento de las aguas que son afectadas por las descargas de residuos sólidos y desagües industriales y domésticos que se vierten en los canales abiertos en todo su recorrido de 17 km desde su captación en el río Rímac hasta la entrega del último usuario en Chorrillos. Estos gastos son cubiertos principalmente por tres municipalidades distritales que operan y mantienen plantas de **pre-tratamiento** en La Molina, Santiago de Surco y San Isidro, las cuales que tienen **cámaras de rejillas para la extracción y posterior traslado de los residuos sólidos a los rellenos sanitarios**. Se sabe que solo la Planta de La Molina maneja de 4 a 5 TM/día de residuos. La Planta de Intihuatana de Surco, además de retener sólidos de todo el caudal del río Surco restante, aplica además un tratamiento físico-químico y desinfección para habilitar las aguas que utiliza en el riego de parte de sus áreas verdes. No se tiene información de los costos asumidos en cada caso, pero se puede usar como referencia el costo entre **US\$ 0.1 y 0.2/m<sup>3</sup>** que tiene el pre-tratamiento en las plantas de aguas residuales.

El **agua potable** actualmente utilizada por los municipios para el riego de sus áreas verdes paga la **tarifa estatal** establecida por SUNASS (2006) para SEDAPAL y que al presente año es de **US\$ 0.86/m<sup>3</sup>**. Sin embargo recientemente SUNASS ha informado que partir del próximo año las empresas de agua podrán cobrar a los municipios la **tarifa comercial de US\$ 1.70/m<sup>3</sup>**, a fin de propiciar el remplazo del uso de agua potable por agua residual tratada para el riego de las áreas verdes urbanas.

De otro lado muchos municipios distritales han optado por usar agua subterránea extraída en pozos privados y que se oferta mediante camiones cisternas, que además les ofrecen el servicio complementario de riego de los parques. Es difícil calcular el costo de esta agua porque depende de la distancia del pozo y porque está incluido en el servicio de riego, pero se estima que podría variar entre US\$ 0.45 y 0.60/m<sup>3</sup> (sin incluir el riego).

Respecto a las **aguas residuales tratadas**, la iniciativa privada para operar 15 plantas de tratamiento de aguas residuales que actualmente maneja SEDAPAL (cuadro 16) estima que el costo de tratamiento depende de la tecnología utilizada en cada caso y que fluctúa entre US\$. 0.08 y 0.19/m<sup>3</sup>, que permite estimar un promedio de S/. 0.44/m<sup>3</sup> equivalente a **US\$ 0.14/m<sup>3</sup>**. Por otro lado el Proyecto SWITCH establece costos de operación y mantenimiento de seis plantas de tratamiento de Lima en 2008 (cuadro 14), que incluye las plantas de Pucusana y Huáscar operadas por Sedapal con US\$ 0.22/m<sup>3</sup> y 0.043/m<sup>3</sup> respectivamente, diferencia que se debe a la tecnología utilizada, sin embargo ninguno de estos valores es más alto que la tarifa de agua potable que se paga por regar algunas áreas verdes en Lima.

En el cuadro 31 se ha estimado el costo del agua utilizada actualmente en el riego de las áreas verdes y las zonas agrícolas periurbana de Lima Metropolitana. Para el agua de río se ha aplicado la tarifa estipulada por la Junta de Usuarios del Sub distrito de Riego del Rímac, mientras que para el agua potable es la tarifa estatal que por el momento cobra SEDAPAL a las municipalidades. La tarifa del agua residual tratada es el promedio establecido para las plantas de tratamiento operadas por SEDAPAL y para el agua de río pre-tratada se ha asignado el porcentaje que corresponde al pre-tratamiento de las mismas plantas.

**Cuadro 31. Costo actual del agua utilizada para el riego de áreas verdes y las zonas agrícolas de Lima Metropolitana**

Fuente	Caudal (MC/s)	Volumen anual (MMC)	Tarifa (US\$/MC)	Costo anual (M\$)
Agua de río	12.10	381.59	0.01	3.82
Agua de río pre-tratada (río Surco)	1.10	34.69	0.06	2.08
Agua potable y de pozos	0.70	22.08	0.86	18.98
Agua residual tratada	1.00	31.54	0.14	4.42
Agua residual cruda	0.60	18.92	-	-
<b>Total</b>	<b>15.50</b>	<b>488.81</b>		<b>29.30</b>

Fuente:Elaboración propia. (MMC= millones de metros cúbicos)

Como se puede apreciar el **uso de agua potable representa el 65% del costo del agua de riego**, aun cuando solo constituye el 5% del volumen utilizado, cifra que se elevará el

próximo año al doble cuando SEDAPAL aplique la tarifa comercial de US\$ 1.70/m<sup>3</sup> que será autorizada por SUNASS. Es por eso que desde hace ya varios años algunos municipios y entidades privadas han optado por tratar aguas residuales para reemplazar el agua de potable y el agua del río Surco.

## 8.8. Infraestructura de riego actual

El cuadro 32 presenta un listado de la infraestructura actualmente existente para el riego de las áreas verdes y agrícolas de Lima, y que está conformada básicamente por canales de riego de agua de río, la red pública de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales y agua de pozo distribuida por camiones cisternas.

**Cuadro 32. Infraestructura actual para el riego de las áreas verdes y agrícolas de Lima**

Infraestructura	Fuente	Uso	Área (ha)	Caudal (l/s)	Distritos
Canales Carabaylo	Río Chillón	Agrícola	2,700	2,450	Carabaylo
Canales Puente Piedra	Río Chillón	Agrícola	500	420	Puente Piedra
Canales Los Olivivos	Río Chillón	Agrícola	156	130	Los Olivivos
Canales Comas	Río Chillón	Agrícola	700	600	Comas
Canales San Martín	Río Chillón	Agrícola	500	400	San Martín
Canal Chaclacayo	Río Rímac	Áreas verdes	100	100	Chaclacayo
Canal Carapongo	Río Rímac	Agrícola	558	640	Ate
Canal Ñaña	Río Rímac	Agrícola	400	420	Lurigancho
Canal Carapongo	Río Rímac	Agrícola	500	540	Lurigancho
Canal Nievería	Río Rímac	Agrícola	600	650	Lurigancho
Canal Huachipa	Río Rímac	Agrícola	1,200	1,250	Lurigancho
Canal Vitarte	Río Rímac	Agrícola	300	300	Ate
Canal Huatica	Río Rímac	Áreas verdes	45	50	Cercado, La Victoria, El Agustino, San Luis
Canal Surco	Río Rímac	Áreas verdes	1,077	1,050	La Molina, Santa Anita, Ate
					Jesus María, Pueblo Libre, Magdalena
					Lince, San Isidro, Miraflores
					Surquillo, Surco
Canal San Agustín	Río Rímac	Agrícola	400	200	Callao
Red Agua Potable	Río Rímac	Áreas verdes	485	400	Varios
Canales Cieneguilla	Río Lurín	Agrícola	366	400	Cieneguilla
Canales Lurín	Río Lurín	Agrícola	2,500	2,400	Lurín
Canales Pachacamac	Río Lurín	Agrícola	1,300	1,200	Pachacamac
Colector Callao	desagues	Agrícola	400	600	Callao
Plantas Cono Sur	AR tratada	Agrícola	260	600	S.J. Miraflores, VES
Varias plantas	AR tratada	Áreas verdes	400	400	Varios
Camiones cisterna	Subterránea	Áreas verdes	350	300	Varios
<b>TOTAL</b>			<b>15,797</b>	<b>15,500</b>	

*Fuente: elaboración propia.*

Los canales de riego captan 12,000 l/s de las aguas en los ríos Rímac, Chillón y Lurín para irrigar las zonas agrícolas, así como otros dos canales llamados Surco y Huatica que abastecen con 1,100 l/s las áreas verdes de muchos distritos de la zona central de Lima.

Un sistema paralelo lo constituye la red pública de agua potable que abastece con 400 l/s a muchos parques vecinales de la ciudad. En algunos casos se trata de puntos de suministro instalados en cada parque por SEDAPAL y por tanto están sujetos al pago del servicio. En otros casos se trata de un punto de suministro clandestino o no medido por

Sedapal, por lo que no se conoce el gasto real y no se paga el valor real del recurso, razón por la cual es muy frecuente encontrar parques vecinales inundados con agua potable en ciertos días, ya que es la práctica de riego más cómoda para los operarios.

A este abastecimiento se debe añadir un número no definido de camiones cisternas que abastecen con 9.46 MMC/año (millones de metros cúbicos anuales), valor equivalente a un caudal virtual de 300 l/s de agua de pozo.

Por último se tiene un sistema de distribución de 900 l/s de aguas residuales tratadas en zonas aledañas a las plantas de tratamiento manejadas por Sedapal y que permiten el riego de ciertas áreas verdes y agrícolas cercanas. En forma muy puntual y localizada existen paralelamente áreas verdes públicas o privadas que cuentan dentro de sus propios predios con plantas de tratamiento de aguas residuales para regar todas en conjunto con aproximadamente 100 l/s de agua residual tratada.

### **8.9. Planes de abastecimiento de agua para riego de áreas verdes**

En las **zonas agrícolas periurbanas** se mantienen los antiguos canales de riego, sin embargo cada vez tienen mayores problemas de mantenimiento por el vertimiento de residuos sólidos de las poblaciones que se van asentando en sus alrededores. En ciertos casos ya se han anulado algunos tramos de canales por la construcción de pistas y el cambio de uso de los terrenos. En términos generales en los valles de los ríos Rímac y Chillón no se cuentan con planes de protección de estas áreas agrícolas y menos la adopción de sistemas de riego tecnificados que mejoren la calidad y eficiencia del uso del agua.

Un caso algo diferente es el valle del río Lurín, en donde desde 1988 se crea el **Programa Valle Verde** para diseñar y poner en marcha una iniciativa de desarrollo sustentable para dicha cuenca. Este programa cuenta con el respaldo de la Asociación de Autoridades Municipales (AAM) constituida por los 12 alcaldes de los distritos que conforman la cuenca. Para impulsar el programa se ha formado el Patronato Valle Verde, que propone convertir la cuenca del río Lurín en un gran parque arqueológico-cultural, turístico y ecológico con servicios básicos, inversiones empresariales y el respeto del medio ambiente para acoger a los habitantes de Lima, mediante la aplicación de un modelo de desarrollo de concertación y actuación de diversos actores. Dentro de las acciones se contempla el **mejoramiento del sistema de riego** en todo el ámbito del valle.

El riego de las **áreas verdes urbanas** sigue siendo una tarea difícil y costosa para la mayoría de distritos, ya que dependen del uso de agua potable normalmente escasa en los distritos periféricos o del servicio de camiones cisternas que deben ser abastecidos en pozos alejados o se paga a terceros por dicho servicio. En tal sentido, algunos municipios están tratando de implementar **sistemas de riego tecnificados** que demanden menor cantidad de agua.

Una situación diferente la tienen los 16 distritos que riegan parte de sus áreas verdes con el agua de los canales Surco y Huatica. En algunos casos se están mejorando los sistemas de distribución y almacenamiento, consistente en la instalación de cámaras de rejillas para retener sólidos y grandes tanques cisterna para permitir un riego más organizado y eficiente. Algunos distritos como Santiago de Surco intentan repotenciar su planta de pre-

tratamiento y ampliar su reservorio para captar mayor cantidad de agua del canal Surco, especialmente durante la noche.

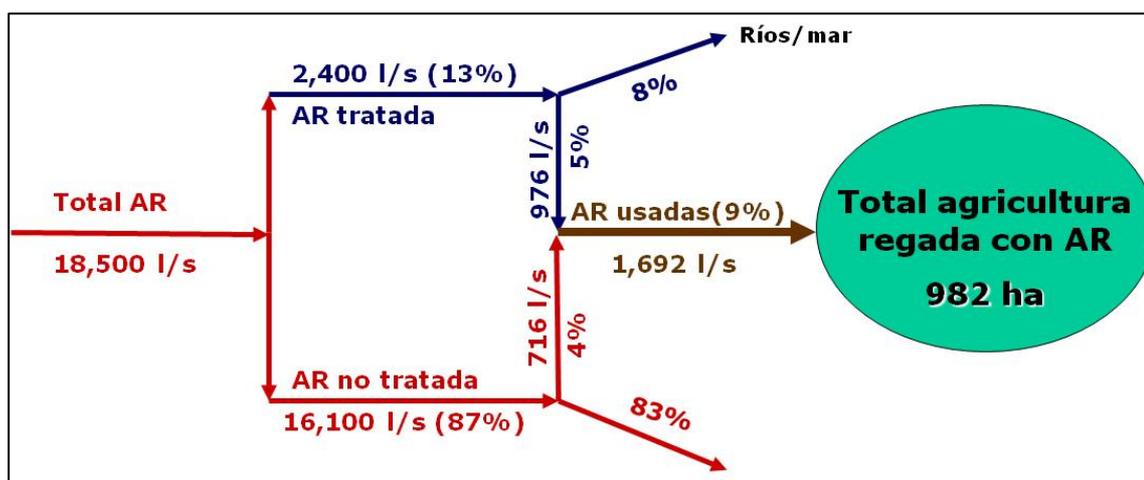
Los distritos que no tienen acceso a los canales antes citados están optando por instalar plantas compactas de tratamiento de aguas residuales, pero el esfuerzo hasta el momento es de carácter individual. Esta alternativa tendrá más vigencia cuando SEDAPAL eleve las tarifas de uso de agua potable para riego y la Municipalidad Metropolitana de Lima logre concertar un Plan Metropolitano de Riego de Áreas Verdes con Aguas Residuales Tratadas. A ello se suma la posibilidad de que SEDAPAL reemplace el abastecimiento actual del río Surco con un sistema de agua residual tratada distribuido a través de una red entubada.

## 9. REUSO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO EN LIMA

### 9.1. Reuso actual en agricultura y áreas verdes

El proyecto SWITCH-Lima identificó en 2008 que Lima Metropolitana tenía 37 experiencias de utilización de aguas residuales en el riego de áreas verdes y agrícolas, abastecidas por 30 plantas de tratamiento privadas, municipales y de Sedapal. Como se puede apreciar en la figura 8, estas experiencias se desarrollaban sobre 982 ha que utilizaban un caudal aproximado de 1,692 l/s, equivalente a solo el 9% de los desagües recolectados en Lima, de los cuales el 58% estaba constituido por aguas residuales tratadas y el 42% restante usaban desafortunadamente el agua cruda sin tratar. Resulta paradójico que se utilizara agua sin tratar, mientras que el 41% del agua tratada se descargaba a los ríos y el mar. Asimismo es importante mencionar que en el 2008 el 91% del agua residual producida en Lima se descargaba al mar sin darle ninguna utilidad en una ciudad ubicada en un desierto.

Figura 8. Esquema del manejo de las aguas residuales domésticas de Lima en 2008



Fuente: IPES, 2009

Sin embargo, dicho Proyecto también identificó el gran interés que los municipios han mostrado en los últimos años por sustituir el agua potable por agua residual para el riego de sus áreas verdes. Este creciente interés ha determinado que actualmente el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento lidere un proceso de implementación de los Lineamientos de Política para la Promoción del Tratamiento para el Reuso de las Aguas Residuales Domésticas y Municipales en el Riego de Áreas Verdes Urbanas y Periurbanas, promulgados en noviembre de 2010.

Por otro lado podemos decir que las principales plantas operadas por Sedapal han sido localizadas en diferentes lugares disponibles de la ciudad, con el único propósito de reducir la contaminación en los cuerpos receptores y no necesariamente en función de la demanda de agua para riego de áreas verdes y agrícolas aledañas, aún cuando en la práctica luego haya sucedido este reuso. Sin embargo la mayoría de estas plantas de

Sedapal se ubican en el ámbito periurbano y por tanto sus efluentes son fácilmente utilizables para el reuso. Solo cuatro plantas fueron instaladas en el ámbito intraurbano (San Juan, Huáscar, José Gálvez y Atarjea), en donde la tendencia ha sido usar los efluentes para el riego de áreas verdes urbanas.

Aún cuando se podría concluir que la mayoría de las plantas de Sedapal tienen una buena ubicación para el reuso, solo se aprovecha el 28% de sus efluentes en el riego de 378 ha verdes, debido principalmente a que estos se descargan directamente a los cuerpos receptores en una cota por debajo de las áreas aledañas potenciales de reuso, tal como ocurre en los casos de las plantas de Puente Piedra y San Juan. Por otro lado existen plantas como Carapongo y San Bartolo ubicadas en cotas superiores a las áreas agrícolas actuales y potenciales, pero que hasta el momento la mayor parte de sus efluentes se descargan al río o el mar respectivamente. En cambio, otras ocho plantas si utilizan todos sus efluentes para el riego de áreas verdes o agrícolas (Ancón, Ventanilla, Atarjea, Huáscar/Parque 26, San Pedro de Lurín, Julio C. Tello y Pucusana). Un caso especial es la planta Huáscar/Parque 26 que tiene una demanda mayor al agua residual actualmente tratada, situación que ocasiona incluso que los agricultores usen agua residual sin tratar.

**Cuadro 33. Área regada con los efluentes de las plantas de Sedapal**

Cod.	Planta	Agricultura (ha)	Áreas verdes (ha)	Total regadas (ha)
1	Ancón	10		10
2	Santa Rosa		8	8
3	Ventanilla	50		50
4	Puente Piedra	40		40
5	Atarjea		1	1
6	San Antonio			
7	Carapongo			
8	San Juan	112	25	137
9	Huáscar/Parque 26	45	24	69
10	José Gálvez	10		10
11	Nuevo Lurín	3		3
12	San Pedro de Lurín	20		20
13	San Bartolo		20	20
14	Julio C. Tello	8		8
15	Pucusana	1	1	2
	<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>79</b>	<b>378</b>

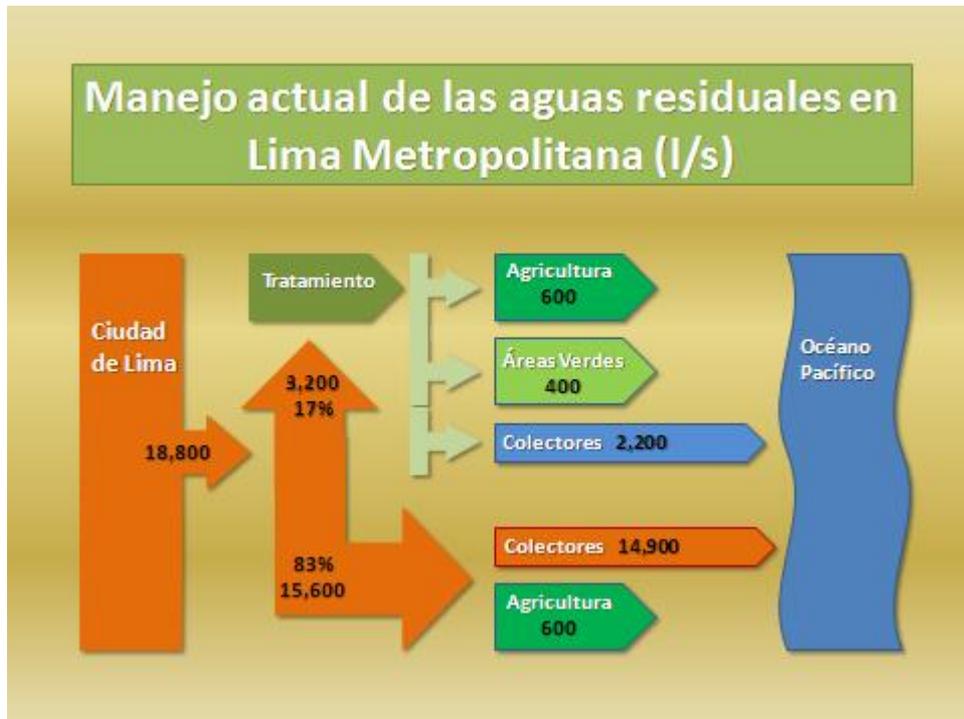
Fuente: IPES, 2008

El cuadro 33 muestra las áreas verdes y agrícolas regadas con los efluentes de 15 plantas operadas por Sedapal. Estas cifras indican que la agricultura periurbana constituye el 79% de las áreas regadas con estos efluentes, mientras que las áreas verdes municipales son apenas el 21% del área regada.

La figura 9 nos muestra la **situación actual** del manejo de las aguas residuales generadas por la ciudad de Lima. Podemos ver que el 17% de las aguas residuales reciben tratamiento, valor que se ha incrementado en 4% por la puesta en marcha de la Planta de San Bartolo, pero que aun es muy bajo. Por otro lado se puede observar que solo el 31%

del agua tratada es utilizada para el riego de áreas verdes y agrícolas, descargando los restantes 2,200 l/s al río o el mar. De otro lado tenemos que aún se utilizan 600 l/s de aguas no tratadas para el riego de la zona agrícola de San Agustín (Callao), pero sabemos que pronto se acabará esa práctica, ya que dichos terrenos han sido expropiados para ampliar el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

**Figura 9 Esquema del manejo actual de las aguas residuales de Lima**



Fuente: elaboración propia

De esta situación podemos concluir que actualmente quedan disponibles 2,200 l/s de aguas residuales tratadas para incrementar las áreas verdes de Lima y Callao hasta en 5,200 ha, siempre que estén ubicadas cerca de los lugares de demanda y cuenten con la calidad sanitaria requerida para ese tipo de riego y que no alcanzan actualmente en todas las plantas de tratamiento.

## 9.2. Ahorro por el uso del agua residual tratada

Es un hecho que los altos costos que demanda el riego de áreas verdes con agua potable y de pozo ha determinado que algunas instituciones municipales y privadas en Lima decidan tratar y usar las aguas residuales locales para reducir significativamente sus costos. Por lo tanto una forma de evaluar los beneficios económicos del uso de las aguas residuales tratadas es a través del ahorro económico producto del reemplazo del agua potable que tradicionalmente se ha utilizado.

El cuadro 34 muestra el ahorro económico que lograron seis experiencias de reuso en Lima evaluadas por el Proyecto SWITCH-Lima, al haber reemplazado el agua potable por agua residual tratada para el riego de sus áreas verdes. Así por ejemplo el colegio La Inmaculada que trata aguas residuales en lagunas de estabilización muestra que su gasto se redujo a solo el 27% del que tenía cuando utilizaba agua potable, mientras que el área

verde de la Avenida Universitaria apenas ahorra un 4% del costo, ya que utiliza una planta de lodos activados que genera un costo muy cercano al agua potable. Los casos de Pucusana y Parque 26, además de mostrar un ahorro significativo, solo cuentan con ese recurso como única fuente de agua.

**Cuadro 34. Ahorro en el costo de agua para riego de algunas áreas verdes en Lima Metropolitana**

Caso	Tecnología de tratamiento	Tarifa del agua potable	Costo del agua tratada (US\$/m <sup>3</sup> )	Diferencia de costo (US\$/m <sup>3</sup> )	Volumen anual (m <sup>3</sup> )	Ahorro	
						US\$/año	%
Pucusana	Lagunas de estabilización	0.72	0.22	0.50	15,600	7,792	69
Inmaculada	Lagunas de estabilización	1.75	0.47	1.28	142,500	182,144	73
Parque 26	Lagunas aireadas	0.72	0.59	0.13	518,393	65,072	17
Avenida Universitaria	Lodos activados	0.72	0.69	0.03	55,176	1,682	4
Oasis de Villa	Humedales artificiales	0.72	0.46	0.26	3,532	911	36
Miraflores-Costa Verde	Filtros percoladores	0.93	0.32	0.61	22,072	13,531	66

Fuente: IPES, 2008

De esta información se puede deducir que el ahorro por costo de agua fluctúa entre el 4 y 73% según la tecnología utilizada para el tratamiento y la tarifa de agua potable de SEDAPAL aplicada, pero en todos los casos se logra un beneficio por usar las aguas residuales tratadas.

Si realizamos un ejercicio similar con los datos del costo del agua para riego de las áreas verdes urbanas (sin incluir agricultura), veremos en el cuadro 35 que **actualmente Lima gasta US\$ 22.86 millones** principalmente por el uso de agua potable, por tanto este costo se podría **reducir a US\$ 10.15 millones (44%)**, si los otros recursos se reemplazan **totalmente por agua residual tratada**.

**Cuadro 35. Ahorro en el costo de agua por el uso de agua residual tratada en remplazo de otras fuentes en Lima**

Fuente	Caudal (MC/s)	Volumen anual (MMC)	Costo actual (M\$)	Costo con AR (M\$)
Agua de río	0.10	3.15	0.03	0.44
Agua de río pre-tratada	1.10	34.69	2.08	4.86
Agua potable y de pozo	0.70	22.08	18.98	3.09
Agua residual tratada	0.40	12.61	1.77	1.77
<b>Total</b>	<b>2.30</b>	<b>72.53</b>	<b>22.86</b>	<b>10.15</b>

Fuente: elaboración propia.

Es importante aclarar que este cálculo se ha realizado con la tarifa estatal para el agua potable asignada actualmente para el riego de las áreas verdes municipales, pero que el próximo año sería sustituido por la tarifa comercial de US\$ 1.70/m<sup>3</sup>, por lo que el costo se elevaría a US\$ 41.41 millones. Esa nueva situación justificaría aún más el reemplazo de esta fuente por agua residual tratada, que así permitiría reducir al 25% el costo del agua.

### **9.3. Aceptación del reuso**

Este importante indicador para promover el uso de las aguas residuales ha sido difícil de evaluar, aun cuando el Proyecto SWITCH ha realizado entrevistas a los usuarios de las áreas verdes. Una de las principales limitaciones es que las personas no tienen conocimiento de que se riegan las áreas verdes con aguas residuales tratadas, por tanto no se puede saber su grado de aceptación. Las personas que tienen conocimiento del uso de las aguas residuales tratadas normalmente son los vecinos, que alertados por la presencia de olores desagradables y de ciertos vectores, manifiestan cierto rechazo por la incomodidad que generan y los posibles riesgos a la salud de sus familias. Sin embargo, hemos podido comprobar que a pesar de estos inconvenientes, muchas personas reconocen la principal ventaja del uso de las aguas residuales para mantener las áreas verdes en buenas condiciones.

Consideramos que el grado de aceptación depende del nivel de conocimiento sobre el tema, el nivel económico de la persona y su experiencia ancestral del campo. En 1992 el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) realizó un estudio de mercado del pez tilapia cultivado con aguas residuales tratadas, mostrando que el conocimiento sobre el uso de estas aguas no es un factor disuasivo para el consumo y que una adecuada estrategia de información puede incrementar su venta frente al mismo producto pero que no se conoce el origen. Lo contrario ocurre cuando la población desconoce las condiciones del reuso y percibe un probable riesgo, como ocurrió en el 2006 cuando un candidato a la alcaldía de un distrito de alto nivel económico alertó a la población que el alcalde anterior regaba los parques con aguas residuales. En este caso se trata de una población totalmente citadina y con mayor nivel educativo que desarrolló una percepción exagerada frente a un probable riesgo a la salud. Diferente es la percepción de otros estratos sociales, que aun cuando tienen un nivel educativo más bajo, aceptan con mayor naturalidad el reuso que han conocido en su experiencia de vida rural, en donde los abonos son normalmente utilizados en la agricultura. Es así que los agricultores que riegan con aguas residuales en Lima consideran que el agua residual es un recurso valioso para la producción agrícola, sin ni siquiera advertir riesgos de contaminación probables.

En términos generales podemos decir que existe en la población un rechazo natural por el uso de las aguas residuales, situación que creemos está cambiando rápidamente en los últimos años debido a una intensa campaña ambientalista que propone sustituir el agua potable por la residual para el riego de las áreas verdes.

### **9.4. Reuso potencial de aguas residuales para el riego**

El cuadro 36 presenta los cálculos realizados para conocer los requerimientos de agua de las futuras áreas verdes y agrícolas de Lima en base a las áreas proyectadas. Para regar las casi 9,600 ha de áreas verdes potenciales se requeriría un caudal de casi 4.4 m<sup>3</sup>/s, descontando las áreas de los pantanos de Ventanilla y Villa que obviamente no necesitan ser regados (marcados en rosado). De mantenerse las 12,940 ha agrícolas actuales, se necesitarían otros 6.5 m<sup>3</sup>/s para un riego tecnificado, que se espera sea adoptado para lograr mayor eficiencia. Sin embargo, de no tomarse medidas inmediatas para declarar la intangibilidad de las zonas agrícolas, esta extensión podría sufrir una reducción hasta quedar en solo 8,000 ha, en cuyo caso solo demandarían 4 m<sup>3</sup>/s.

**Cuadro 36. Requerimiento de agua para las futuras áreas verdes y agrícolas de Lima**

No.	Distrito	Áreas verdes (ha)	Agua áreas verdes (l/s)	Zonas agrícolas	Agua zonas agrícolas (l/s)	Total verde (ha)	Total req. agua (l/s)
<b>Provincia del Callao</b>		<b>881.71</b>	<b>151.85</b>	<b>400.00</b>	<b>200.00</b>	<b>1,281.71</b>	<b>351.85</b>
3	Ventanilla	673.70	47.85		-	673.70	47.85
4	Callao	147.04	73.52	400.00	200.00	547.04	273.52
5	La Punta	3.03	1.51		-	3.03	1.51
6	Carmen de la Legua	11.71	5.85		-	11.71	5.85
7	Bellavista	28.98	14.49		-	28.98	14.49
8	La Perla	17.26	8.63		-	17.26	8.63
<b>Provincia de Lima</b>		<b>8,691.36</b>	<b>4,223.68</b>	<b>12,540.00</b>	<b>6,270.00</b>	<b>21,231.36</b>	<b>10,493.68</b>
<b>Cono Norte</b>		<b>2,053.62</b>	<b>1,026.81</b>	<b>4,556.00</b>	<b>2,278.00</b>	<b>6,609.62</b>	<b>3,304.81</b>
1	Ancón	1,228.63	614.31		-	1,228.63	614.31
2	Santa Rosa	40.35	20.18		-	40.35	20.18
9	Carabayllo	71.69	35.85	2,700.00	1,350.00	2,771.69	1,385.85
10	Puente Piedra	39.95	19.97	500.00	250.00	539.95	269.97
11	Los Olivos	139.87	69.93	156.00	78.00	295.87	147.93
12	Comas	141.06	70.53	700.00	350.00	841.06	420.53
13	Independencia	82.64	41.32		-	82.64	41.32
14	San Martín de Porras	309.42	154.71	500.00	250.00	809.42	404.71
<b>Centro</b>		<b>1,205.29</b>	<b>602.64</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,205.29</b>	<b>602.64</b>
16	Cercado de Lima	176.51	88.26		-	176.51	88.26
17	Breña	22.91	11.45		-	22.91	11.45
18	Rimac	63.97	31.98		-	63.97	31.98
20	San Miguel	181.99	91.00		-	181.99	91.00
21	Pueblo Libre	37.59	18.80		-	37.59	18.80
22	Jesús María	78.51	39.26		-	78.51	39.26
23	Magdalena del Mar	47.57	23.79		-	47.57	23.79
24	Lince	15.45	7.73		-	15.45	7.73
25	La Victoria	41.24	20.62		-	41.24	20.62
26	San Luis	40.28	20.14		-	40.28	20.14
27	San Isidro	126.78	63.39		-	126.78	63.39
28	Miraflores	60.85	30.42		-	60.85	30.42
29	Surquillo	27.23	13.62		-	27.23	13.62
30	Barranco	33.07	16.54		-	33.07	16.54
31	San Borja	56.74	28.37		-	56.74	28.37
32	Santiago de Surco	194.59	97.29		-	194.59	97.29
<b>Cono Este</b>		<b>1,435.19</b>	<b>717.60</b>	<b>3,924.00</b>	<b>1,962.00</b>	<b>5,359.19</b>	<b>2,679.60</b>
15	San Juan de Lurigancho	358.88	179.44		-	358.88	179.44
19	El Agustino	321.90	160.95		-	321.90	160.95
34	Santa Anita	62.03	31.02		-	62.03	31.02
35	Ate	232.71	116.35	858.00	429.00	1,090.71	545.35
36	La Molina	107.41	53.70		-	107.41	53.70
37	Lurigancho-Chosica	256.14	128.07	2,700.00	1,350.00	2,956.14	1,478.07
38	Chaclacayo	22.20	11.10		-	22.20	11.10
39	Cieneguilla	73.93	36.96	366.00	183.00	439.93	219.96
<b>Cono Sur</b>		<b>3,997.26</b>	<b>1,876.63</b>	<b>4,060.00</b>	<b>2,030.00</b>	<b>8,057.26</b>	<b>3,906.63</b>
33	Chorrillos	847.83	301.91		-	847.83	301.91
40	San Juan de Miraflores	238.24	119.12	60.00	30.00	298.24	149.12
41	Villa María del Triunfo	168.34	84.17		-	168.34	84.17
42	Villa El Salvador	558.17	279.08	200.00	100.00	758.17	379.08
43	Pachacámac	21.07	10.54	1,300.00	650.00	1,321.07	660.54
44	Lurín	859.38	429.69	2,500.00	1,250.00	3,359.38	1,679.69
45	San Bartolo	5.50	2.75		-	5.50	2.75
46	Punta Hermosa	1,004.94	502.47		-	1,004.94	502.47
47	Punta Negra	4.53	2.27		-	4.53	2.27
48	Santa María del Mar	280.14	140.07		-	280.14	140.07
49	Pucusana	9.12	4.56		-	9.12	4.56
<b>TOTAL LIMA METROPOLITANA</b>		<b>9,573.07</b>	<b>4,375.54</b>	<b>12,940.00</b>	<b>6,470.00</b>	<b>22,513.07</b>	<b>10,845.54</b>

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado en el cuadro 37 se ha estimado el volumen de agua y los costos de tratamiento que la Iniciativa Privada propone para repotenciar 14 plantas de Sedapal hasta alcanzar el caudal de diseño. Este volumen que en conjunto suman un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s se obtendría a un costo anual de casi US\$ 21 millones.

**Cuadro 37. Volumen potencial y costo de tratamiento de 14 plantas de Sedapal**

Cod.	Nombre	Tecnología tratamiento	Volumen anual (m <sup>3</sup> )	Costo de tratamiento	
				(\$/m <sup>3</sup> )	Total (\$)
1	Santa Rosa	Filtro percolador	567,648	0.08	47,724
2	Ventanilla	Lagunas de estabilización	7,884,000	0.08	662,840
3	Puente Piedra	Lodos activados - SBR	13,308,192	0.15	1,996,229
4	Atarjea	Lodos activados	31,536	0.15	4,730
5	San Antonio	Lodos activados	693,792	0.15	104,069
6	Carapongo	Lagunas anaeróbicas	15,768,000	0.08	1,325,680
7	San Juan	Lagunas aireadas	25,228,800	0.19	4,834,586
8	Huascar/parque 26	Lagunas aireadas	5,361,120	0.19	1,027,349
9	José Gálvez	RAFA + lagunas	3,153,600	0.08	265,136
10	Nuevo Lurín	Lagunas de estabilización	315,360	0.08	26,514
11	San Pedro de Lurín	Lagunas de estabilización	630,720	0.08	53,027
12	San Bartolo	Lagunas aireadas	53,611,200	0.19	10,273,494
13	Julio C. Tello	Lagunas de estabilización	315,360	0.08	26,514
14	Pucusana	Lagunas de estabilización	315,360	0.08	26,514
	<b>Total</b>		<b>127,184,688</b>	<b>0.16</b>	<b>20,674,406</b>

Fuente: Sedapal, 2010

Los datos de los dos cuadros anteriores nos permiten decir que las plantas repotenciadas de Sedapal permitirían abastecer el 90% de las áreas verdes que se pretende habilitar en Lima Metropolitana, por tanto sería necesario implementar nuevas plantas para tratar los otros 0.4 m<sup>3</sup>/s que faltan para todas las áreas verdes proyectadas. Además, si se lograra consensuar el riego de las 8,000 ha agrícolas con aguas residuales tratadas, habría que añadir al sistema de tratamiento una capacidad adicional para otros 4 m<sup>3</sup>/s. En suma el riego de las **áreas verdes y agrícolas** de Lima requeriría un caudal total de **8.4 m<sup>3</sup>/s**.

Sabemos que actualmente las plantas existentes tratan 3.2 m<sup>3</sup>/s y que si se repotencian las plantas de Sedapal podrían llegar a 4 m<sup>3</sup>/s, por tanto podríamos asumir que los 4.4 m<sup>3</sup>/s faltantes serían tratados en las dos mega plantas de Taboada y La Chira que entraran en operación en el 2013, sin embargo esta posibilidad es poco factible, ya que estas plantas estarán ubicadas en dos lugares junto al mar a distancia y en con cotas por debajo de las zonas que se quiere regar, por tanto será necesario implementar nuevas plantas cercanas a las zonas de demanda.

#### 9.5. Planes de reuso para abastecer las áreas verdes

El cuadro 38 muestra el balance de oferta de las plantas existentes que serían repotenciadas y la demanda potencial de agua de los distritos para el riego de sus áreas verdes, sin incluir la agricultura.

**Cuadro 38. Evaluación de la oferta y la demanda de agua para el riego de las áreas verdes de Lima Metropolitana**

Distritos Cono Norte	Área a regar (ha)	Demanda agua (l/s)	Planta	Oferta de agua (l/s)	Balance	Propuesta
Ancón	1,228.63	614.31	Ancón	20.00	-496.49	Nuevas plantas
			Jerusalén	70.00		
			Piedras Gordas	30.00		
Santa Rosa	40.35	20.18	Santa Rosa	18.00		
Carabayllo	71.69	35.85			-77.17	Nuevas plantas
Independencia	82.64	41.32				
Comas	141.06	70.53				
Puente Piedra	39.95	19.97				
Los Olivos	139.87	69.93				
San Martín de Porras	309.42	154.71	Puente Piedra	422.00	2.85	
Callao	147.04	73.52				
La Punta	3.03	1.51				
Carmen de la Legua	11.71	5.85				
Bellavista	28.98	14.49				
La Perla	17.26	8.63				
Ventanilla	673.70	47.85	Ventanilla	250.00	202.15	
Distritos del Centro	Área a regar (ha)	Demanda agua (l/s)	Planta	Oferta de agua (l/s)	Balance	Propuesta
Rimac	63.97	31.98			-31.98	Nuevas plantas
Cercado de Lima	176.51	88.26				
Breña	22.91	11.45			-146.69	Nuevas plantas
Jesús María	78.51	39.26				
Lince	15.45	7.73				
Pueblo Libre	37.59	18.80			-133.58	Nuevas plantas
Magdalena del Mar	47.57	23.79				
San Miguel	181.99	91.00				
Santa Anita	62.03	31.02	Atarjea	1.00	-783.27	Nuevas plantas
El Agustino	321.90	160.95				Río Surco
La Victoria	41.24	20.62				
San Luis	40.28	20.14				
San Borja	56.74	28.37				
San Isidro	126.78	63.39				
Miraflores	60.85	30.42				
Surquillo	27.23	13.62				
Santiago de Surco	194.59	97.29				
Barranco	33.07	16.54				
Chorrillos	847.83	301.91				
Distritos del Cono Este	Área a regar (ha)	Demanda agua (l/s)	Planta	Oferta de agua (l/s)	Balance	Propuesta
San Juan de Lurigancho	358.88	179.44			-179.44	Nuevas plantas
Lurigancho-Chosica	256.14	128.07	San Antonio	22.00	-106.07	Nuevas plantas
Chaclacayo	22.20	11.10				
Ate	232.71	116.35	Carapongo	500.00	372.55	
Cieneguilla	73.93	36.96	Manchay	90.00	-0.67	
La Molina	107.41	53.70				
Distritos del Cono Sur	Área a regar (ha)	Demanda agua (l/s)	Planta	Oferta de agua (l/s)	Balance	Propuesta
San Juan de Miraflores	238.24	119.12	San Juan	800.00	596.71	
Villa María del Triunfo	168.34	84.17				
Villa El Salvador	558.17	279.08	Huascar	170.00	-109.08	Ampliación
Pachacámac	21.07	10.54	José Gálvez	100.00		
			Julio C. Tello	10.00		
Lurín	859.38	429.69	San Bartolo	1,700.00	752.22	
			San Pedro de Lurín	20.00		
			Nuevo Lurín	10.00		
Punta Hermosa	1,004.94	502.47				
San Bartolo	5.50	2.75				
Punta Negra	4.53	2.27				
Santa María del Mar	280.14	140.07				
Pucusana	9.12	4.56	Pucusana	10.00	5.44	

Fuente: elaboración propia

Esta propuesta agrupa los distritos en 16 zonas conformadas en función a la presencia de plantas, la cercanía entre los distritos y la posibilidad de llevar el efluente por gravedad cuando sea posible. Se asume que la distribución del agua tratada sería por tuberías, principalmente por gravedad y en algunos casos con bombeo, o mediante el transporte con camiones cisternas a zonas relativamente más alejadas.

El cuadro 39 presenta la lista de los nueve grupos que demandarían nuevas plantas en ocho casos y la ampliación de la planta Huascar, y en conjunto ofertarían casi 2.1 m<sup>3</sup>/s demandadas por las diferentes zonas conformadas.

**Cuadro 39. Grupos de distritos que demandarían plantas nuevas o ampliadas para atender la demanda en diferentes zonas de Lima**

No.	Distrito	Caudal (l/s)
1	Ancón	500
2	Carabayllo	80
3	Rímac	32
4	Cercado	150
5	Pueblo Libre	134
6	Santa Anita-Río Surco	785
7	San Juan de Lurigancho	180
8	Lurigancho-Chosica	106
9	VES- ampliación Huascar	110
<b>Total</b>		<b>2,077</b>

*Fuente: elaboración propia*

Si bien la zona de Ancón y Santa Rosa cuentan con cuatro plantas que ofertarían hasta 138 l/s, se contempla la posibilidad de desarrollar 1,200 ha verdes en las pampas de Ancón ubicadas entre Piedras Gordas y el Litoral, por tanto demandarían casi 500 l/s adicionales que tendrían que ser obtenidos en nuevas plantas.

La planta de Puente Piedra (ubicada en San Martín de Porras) repotenciada para lograr su caudal de diseño de 422 l/s y la calidad sanitaria requerida para el riego podría atender la demanda potencial de los distritos de Comas, Puente Piedra, Los Olivos, San Martín de Porras y los distritos del Callao (excepto Ventanilla). En las zonas más cercanas se podría distribuir mediante un sistema de tubería (algunas partes con bombeo) y en las más alejadas mediante camiones cisternas. La planta de Ventanilla por su lejanía solo podrá atender la demanda potencial del mismo distrito, aun cuando tenga un excedente importante que seguiría siendo usado en la zona agrícola aledaña. Un proyecto ambicioso podría contemplar el bombeo del efluente para desarrollar zonas forestales en los cerros aledaños, incluyendo la Refinaría de la Pampilla.

Los distritos de Carabayllo e Independencia que están más alejados requerirán de una o varias nuevas plantas de tratamiento, dependiendo de la topografía y los terrenos disponibles para tal fin. SEDAPAL ha informado que se están realizando los estudios para ubicar algunas plantas en esta zona. El distrito del Rímac es una zona especial porque goza de una infraestructura histórica conformada por el Paseo de Aguas y la Alameda de los descalzos, que en siglos pasados era abastecida naturalmente por brazos del río Rímac. Actualmente está utilizando agua potable para atender la demanda y que por los costos

resulta ineficiente. Por tanto es imperante ubicar una planta de tratamiento de aguas residuales que ofrezca el caudal de 32 L7s requerido. Posiblemente esta propuesta podría ser incluido en el Proyecto **Río Verde** de la Municipalidad Metropolitana de Lima. Del mismo modo para abastecer los casi 150 l/s requeridos por los parques del Cercado de Lima y los distritos de Breña, Jesús María y Lince actualmente dificultosamente regados por el río Huatica, la MML está evaluando la implementación de varias plantas de tratamiento.

El caso de la Nueva Planta de la Atarjea proyectada por Sedapal para tratar inicialmente 500 l/s y luego ampliarla hasta 1,000 l/s, permitiría atender la demanda de 785 l/s para reemplazar totalmente el agua del río Surco actualmente utilizada para regar las áreas verdes de 10 distritos, añadiendo Barranco y Chorrillos y descartando Ate y La Molina que podrían ser atendidos por las actuales plantas de Carapongo y Manchay respectivamente.

La planta de Carapongo actualmente produce 500 l/s, que con mejoras de calidad tendría capacidad para abastecer los 375 l/s requeridos potencialmente por los distritos de Ate-Vitarte y Chaclacayo, así como usar los excedentes para promover el riego de las zonas agrícolas aledañas. Una información relevante es que 400 l/s del canal Ate que actualmente abastece una zona agrícola en esa zona serán remplazados por los efluentes de la nueva Planta de Tratamiento de aguas residuales de Santa Clara. Si bien no atenderá la demanda de las áreas verdes públicas, si atendería parte del riego agrícola que actualmente usa agua del río Rimac y que podría destinarse para el consumo humano.

La planta de Manchay tiene una capacidad proyectada de 90 l/s suficiente para atender toda la demanda potencial de Cieneguilla y La Molina. Si bien actualmente una parte de las áreas verdes de La Molina son abastecidas por el río Surco, este recurso podría ser liberado para otros usos si se lograra trasladar el efluente de la Planta de Manchay.

La planta de San Juan podría atender las necesidades de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo, y aún así tendría un gran excedente que seguiría atendiendo la zona agrícola de su distrito y la parte baja de Villa El Salvador (VES), así como nuevos requerimientos de VES y un probable desarrollo verde del tramo cercano de la Panamericana Sur. Recientemente SUNASS ha informado que la Municipalidad de San Juan de Miraflores dio inició al nuevo sistema de riego que empleará aguas residuales tratadas para el mantenimiento de áreas verdes mediante una red de distribución que alimentará directamente a los parques y jardines a través de 95 conexiones independientes para agua de riego. La construcción de este sistema abarcará alrededor de 315 hectáreas de la zona sur del Distrito de San Juan de Miraflores y distritos como Villa María del Triunfo y Villa el Salvador, incluyendo una reforestación de las Pampas de San Juan (primer sector).

El caso de la planta de Huáscar es muy particular, pues aún cuando se concentra en atender casi solo su distrito (la parte más baja podría hacerse con la Planta de San Juan), demandaría de una ampliación para abastecer con 280 l/s que potencialmente se requieren en este. No olvidemos que inicialmente esa planta fue diseñada para tratar 550 l/s pero que luego se redujo a 170 l/s por razones financieras y actualmente solo trata 90 l/s. Por lo menos al momento Sedapal ha informado que se está acondicionando esta planta para alcanzar 120 l/s. Esperamos que a futuro se proyecte una ampliación hasta los 280 l/s que requerirá ese distrito.

Por último, la gran planta de San Bartolo podría atender los requerimientos potenciales de 1,100 l/s para los distritos de Pachacamac, Lurín, Punta Hermosa, San Bartolo, Punta Negra y Santa María, que incluirían el desarrollo de 1,600 ha en las Pampas de San Bartolo. Las áreas verdes de los balnearios más alejados podrían ser abastecidas por camiones cisternas, salvo que estos implementen pequeñas plantas compactas para tratar sus propios desagües.

Si bien la propuesta de los cuadros 38 y 39 antes descrita responde apenas a un ejercicio muy superficial, ya que la formación de zonas y la localización de plantas finalmente dependería de una evaluación técnica y económica de viabilidad, nos permite apreciar que no toda la capacidad de las plantas existentes podrá ser aprovechada para regar las áreas verdes de Lima, por lo que sería necesario implementar nuevas plantas que aseguren el abastecimiento en cada zona de la ciudad. Es así que en un primer momento dijimos que las plantas de Sedapal podrían ofertar 4 m<sup>3</sup>/s para atender una demanda potencial de 4.4 m<sup>3</sup>/s para las áreas verdes, por lo que faltarían solo 0.4 m<sup>3</sup>/s en el caso de que se pueda utilizar toda el agua tratada. Sin embargo cuando aplicamos los criterios de ubicación y agrupación de distritos cercanos (zonas), vemos que necesitamos una oferta adicional de casi 1.7 m<sup>3</sup>/s y no de 0.4 m<sup>3</sup>/s, debido a que la localización de las plantas de Ventanilla, Carapongo, San Juan de Miraflores y San Bartolo generarían excedentes por 1,900 l/s, y que en todo caso podrían ser aprovechados en la agricultura cercana. Al respecto conviene aclarar que vemos poco probable que la mencionada planta de San Bartolo pueda ser repotenciada hasta alcanzar su caudal de diseño (1,700 l/s), por tanto entendemos que solo produciría 1,000 l/s, en cuyo caso el excedente total calculado se reduciría a 1,200 l/s.

En suma, Lima Metrololitana tendría una **demanda potencial de 4.4 m<sup>3</sup>/s para regar sus áreas verdes actuales y proyectadas**, que sería atendida con **2.7 m<sup>3</sup>/s tratados en las plantas existentes** y los restantes **1.7 m<sup>3</sup>/s** requeridos serían generados **por nuevas plantas** de tratamiento ubicadas estratégicamente en las zonas de demanda identificadas.

#### 9.6. Menores obligaciones para Sedapal y los usuarios

Si bien la propuesta antes descrita demandaría una importante inversión para implementar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima, el reuso implicaría por un lado un ingreso económico que SEDAPAL cobraría a los usuarios y una reducción del monto que deberá pagar por el tratamiento a los operadores privados de las plantas de Taboada y La Chira.

Del mismo modo, en el caso de que las plantas existentes finalmente sean operadas por empresas privadas, la venta de esta agua residual tratada permitiría reducir la tarifa a ser pagada y por tanto la que se cobraría a los usuarios del servicio de agua potable y alcatarillado.

Sin embargo es importante indicar que esta iniciativa de uso de estas aguas residuales tratadas para el riego de las áreas verdes municipales tendrá un costo por la instalación y mantenimiento de los sistemas de distribución y almacenamiento que demanden.

## 10. REGULACION LEGAL RELEVANTE PARA EL TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES

### 10.1. Competencias

El **Ministerio del Ambiente** (MINAM) es la autoridad ambiental responsable de establecer los **Límites Máximos Permisibles** para el tratamiento y uso de las aguas residuales.

La **Autoridad Nacional del Agua** (ANA) es el organismo encargado de:

- **Autorización de vertimientos** de aguas residuales industriales, domésticas y municipales tratadas.
- **Autorización de reuso** de aguas residuales industriales, municipales y domésticas tratadas.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) a través de su **Oficina del Medio Ambiente** (OMA) es el órgano responsable de de la clasificación ambiental de proyectos y aprobación de los términos de referencia de los estudios de impacto ambiental para el tratamiento de las aguas residuales y su uso en el riego de áreas verdes urbanas.

El Ministerio de Salud a través de su **Dirección General de Salud Ambiental** (DIGESA) debe de dar una **Opinión Técnica Favorable** del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales domésticas para vertimiento y reuso.

La **Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento** (SUNASS) es un organismo público descentralizado tiene la facultad exclusiva de **aprobar la fórmula tarifaria**, estructuras tarifarias y metas de gestión de las Empresas Prestadoras de Servicios de Agua y Saneamiento, incluyendo las relacionadas al tratamiento y uso de aguas residuales.

### 10.2. Autorizaciones para vertimiento y reuso de aguas residuales

La Ley de Recursos Hídricos promulgada en 2009 establece en su **artículo 79** que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) **autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua**, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP), quedando prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. Asimismo la Ley de Recursos Hídricos indica en su **artículo 82** que la ANA, a través del Consejo de Cuenca, **autoriza el reuso del agua residual tratada**, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional. También indica que la distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca. Por tanto la ANA ha procedido a dictar por la Resolución Jefatural 291 sobre **las disposiciones para el otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reuso de aguas residuales tratadas**.

Por tanto la ANA procedió a dictar ese mismo año la Resolución Jefatural 291 sobre **las disposiciones para el otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas**. En una siguiente Resolución Jefatural 351 la ANA también establece que a partir de abril del 2010 las **autorizaciones o renovaciones de vertimientos** se otorgarán tomando en cuenta obligatoriamente los **Estándares Nacionales de Calidad Ambiental** aprobados por Decreto Supremo No. 002-2008-MINAM. El cuadro 40 resume solo algunos parámetros más relacionados con el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

**Cuadro 40. Algunos Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua**

Cod.	Categoría	DBO	O.D.	SST	SDT	CTT	Parásitos	Giardia
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(NMP/100 ml)	(u/l)	(u/l)
<b>C1</b>	<b>Poblacional y recreacional</b>							
A1	Agua superficial potabilizable con desinfección	3	6		1,000	0	0	0
A2	Agua superficial potabilizable con tratamiento convencional	5	5		1,000	2,000	0	0
A3	Agua superficial potabilizable con tratamiento avanzado	10	4		1,500	20,000		0
B1	Agua superficial recreacional de contacto primario	5	5			200	0	0
B2	Agua superficial recreacional de contacto secundario	10	4			1,000		0
<b>C2</b>	<b>Actividades marino costeras</b>							
SC1	Agua de mar en zona de extracción y cultivo de bivalvos		4			14		
SC2	Agua de mar en zona de extracción y cultivo otras especies	10	3	50		30		
SC3	Agua de mar en zona para otras actividades	10	2.5	70		100		
<b>C3</b>	<b>Riego de vegetales y bebida de animales</b>							
	Vegetales de tallo bajo	15				1,000	1	
	Vegetales de tallo alto	15				2,000	1	
	Bebida de animales	15	5			1,000	1	
<b>C4</b>	<b>Conservación del ambiente acuático</b>							
	Lagunas y lagos	5	5	25	500	3,000		
	Ríos de costa y sierra	10	5	100	500	2,000		
	Ríos de selva	10	5	400	500			
	Ecosistemas marinos costeros - estuarios	15	4	100	500	1,000		
	Ecosistemas marinos costeros - marinos	10	4	30		30		

Fuente: MINAM, 2008

En 2010 el MINAM por Decreto Supremo N0. 003-2010 MINAM aprobó los **Límites Máximos Permisibles para los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas** o municipales y que se señalan en el cuadro 41.

**Cuadro 41. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas**

Parámetro	Unidad	Límite
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	≥ 30

Fuente: MINAM, 2010.

Aun queda pendiente que MINAM defina los límites máximos permisibles para el reuso de las aguas residuales domésticas, mientras tanto la ANA aplica las directrices de la

Organización Mundial de la Salud (OMS) para el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura (1989), que recomienda para riego irrestricto menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml y menos de un huevo de nemátodos por litro.

Es importante indicar que la diferencia de los límites máximos permisibles para disponer los efluentes de las plantas de tratamiento y los que se definan para el reuso, determinará el proceso de tratamiento adicional que se requeriría para destinarse a los diferentes tipos de reuso, y por tanto las exigencias y costos que deberán asumir los beneficiarios.

La Resolución Jefatural 291 establece que el **procedimiento administrativo para el otorgamiento de Autorización de vertimientos y reusos** de aguas residuales domésticas o municipales tratadas, que se inicia ante la **Autoridad Nacional del Agua**, para cuyo efecto se debe presentar los siguientes requisitos:

- a. Solicitud dirigida a la Autoridad Nacional del Agua, con carácter de Declaración Jurada firmada por el representante legal.
- b. Ficha del sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas o municipales según formato establecido por la Autoridad Nacional del Agua.
- c. Para el caso de sistemas en operación: la caracterización de las aguas residuales domésticas o municipales crudas, sustentada con los análisis de ensayo (a excepción de tanque séptico) de un laboratorio acreditado por INDECOPI, así como el estudio de evaluación de los efectos ambientales en el receptor causado por el vertimiento.
- d. Para el caso de sistemas nuevos: la proyección de las características de las aguas residuales domésticas o municipales crudas.
- e. Memoria descriptiva del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales, que incluya memoria de cálculo, disposición final de vertimientos, proyecto de reusos o infiltración en el terreno según corresponda, firmado por ingeniero sanitario colegiado habilitado.
- f. Planos del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales, impreso y digital, a escala, que incluya memoria de cálculo, disposición final de vertimiento, proyecto de reuso o infiltración en el terreno según corresponda, firmado por ingeniero sanitario colegiado y habilitado.
- g. Manual de Operación y Mantenimiento del sistema de tratamiento, firmado por ingeniero sanitario colegiado habilitado.
- h. Copia del acto administrativo emitido por la autoridad competente, que aprueba el instrumento ambiental pertinente, así como una copia del respectivo instrumento ambiental, el cual deberá comprender: la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor o los efectos del reuso, según el caso.

#### Requisitos Específicos para reusos:

- i. Tratándose de reusos en curso: Memoria Descriptiva de las condiciones que posibilitan el reuso, incluyendo la caracterización de las aguas residuales a reusar, sustentados con análisis actualizados de un laboratorio acreditado por INDECOPI.
- j. Tratándose de reusos nuevos: Memoria Descriptiva de las condiciones que posibilitan el reuso, incluyendo la proyección de las características de las aguas residuales a reusar; y tratándose de uso agrario y acuícola se presenta la relación de las especies que se desean cultivar; Constancia de Factibilidad de uso de aguas residuales de la

EPS, (de corresponder); Título de Propiedad del terreno o documento que autorice su uso como terreno de cultivo; y evaluación ambiental del efecto del reuso de aguas residuales tratadas, firmada por Ingeniero ambiental o sanitario colegiado y habilitado.

- k. Para el caso que el solicitante de reuso de aguas residuales tratadas sea distinto al titular del sistema de tratamiento, se presentará únicamente la solicitud dirigida a la Autoridad Nacional del Agua, los requisitos específicos para reuso y la constancia de factibilidad de uso de aguas residuales tratadas del titular del sistema de tratamiento, cuando corresponda.

Una vez verificado el cumplimiento de los requisitos señalados, la ANA remitirá el expediente a la DIGESA del Ministerio de Salud y a la autoridad ambiental, cuando corresponda, para que emitan **opinión favorable**, conforme a lo establecido en el artículo 79 de la Ley de Recursos Hídricos, debiéndose observar para el caso de la autoridad ambiental lo establecido en el artículo 3 de Resolución 291.

Luego de recibidas las opiniones, la Dirección de Línea de la ANA encargada de la gestión de la Calidad del Agua, emitirá la Resolución de primera instancia administrativa.

Para efectos del otorgamiento de Autorización de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas, la **DIGESA** del Ministerio de Salud, realizará la **inspección al sistema de tratamiento, zona de descarga y vertimiento**. Los **costos de la inspección** serán determinados y cobrados por la citada Dirección. La autoridad ambiental y el Ministerio de Salud determinarán los **costos** que demanden la **evaluación de los expedientes** que les sean derivados **para su opinión técnica** en cumplimiento a los artículos 1 y 2 de la Resolución 291.

### **10.3. Políticas públicas que promueven el tratamiento y reuso de las aguas residuales**

Mediante Resolución Ministerial N° 176-2010-VIVIENDA de fecha 05 de noviembre del 2010, se aprobaron los **“Lineamientos de Política para la promoción del tratamiento para el reuso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas”**, la cual consta de cinco (05) lineamientos de Política que de manera integral orienten las acciones al fortalecimiento del marco normativo, tecnológico, económico, de acceso a la información y fortalecimiento de capacidades relacionadas a este tema. Los lineamientos son los siguientes:

- **LINEAMIENTO 1.** El reuso de las aguas residuales domésticas y municipales tratadas para riego de áreas verdes en zonas urbanas y periurbanas deberá incorporarse a la política, planes y estrategias sectoriales, de forma que contribuya a la gestión integrada de los recursos hídricos a nivel nacional, propiciando la sustitución del agua potable.
- **LINEAMIENTO 2.** El uso de tecnologías efectivas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, para el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas deberá ser parte de la política nacional de saneamiento, promoviendo y apoyando la implementación de investigaciones específicas que contribuyan a mejorar la eficiencia del proceso, reducir los costos de tratamiento y mitigar los impactos ambientales.

- **LINEAMIENTO 3.** La activa participación del sector público, el sector privado, la sociedad civil y los organismos internacionales es clave para fortalecer la gestión de Recursos Hídricos y garantizar el principio de sostenibilidad y el financiamiento necesario para la gestión de los sistemas de tratamiento para el reuso de aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.
- **LINEAMIENTO 4.** La promoción de la participación ciudadana y el acceso público a la información debe asegurarse como forma de garantizar la transparencia, el control y la eficiencia en la gestión de los sistemas de tratamiento para el reuso de aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.
- **LINEAMIENTO 5.** El fortalecimiento de las capacidades y el entrenamiento de los diversos actores públicos y privados debe ser parte de una política sectorial permanente, dotada de recursos específicos orientados a satisfacer las demandas de los distintos actores vinculados al tratamiento para el reuso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas.

Para la implementación de estos lineamientos se conformó el **Comité Multisectorial** Conformado por representantes del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la Autoridad Nacional del Agua-ANA, Ministerio de Salud, Ministerio del Ambiente, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento-SUNASS. Este comité se instaló en marzo de 2011 y actualmente está ejecutando el Plan de Implementación acordado para el presente año.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Lima Metropolitana actualmente mantiene una trama urbana totalmente integrada por 49 distritos, 43 de ellos pertenecientes a la Provincia de Lima y 6 de la Provincia Constitucional del Callao. Por tanto la ciudad tiene una **superficie de 2,777 km<sup>2</sup> en donde viven 8.4 millones de habitantes**, lo que implica una densidad poblacional de casi **3,000 habitantes por kilómetro cuadrado**.
- El caudal de aguas residuales domésticas **actualmente tratado es de 3,178 l/s, valor que equivale a solo el 17% de los 18,850 l/s** de desagües que recolecta Sedapal en la ciudad de Lima Metropolitana. Por tanto esta Empresa pretende elevar su cobertura de tratamiento al 100% mediante la implementación de los Megaproyectos de Taboada y La Chira que juntos tendrían una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/s.
- Las 20 plantas que opera Sedapal en promedio están **recibiendo 48% más de DBO<sub>5</sub>** que el valor estimado para sus diseños. Como consecuencia de ello se ha ocasionado una **reducción obligada del 28% del caudal** que se esperaba tratar, aun cuando se está **sobrecargando** estos sistemas con un **36% más de la materia orgánica** que se esperaba tratar. Esta situación ha disminuido la supuesta capacidad del sistema de tratamiento en términos de volumen tratado y por tanto la cobertura de tratamiento en Lima.
- El 34.15% de las plantas trabajan con sistemas de **lodos activados**, pero solo tratan el **16.93%** del agua procesada. En cambio, las tres plantas que combinan **lagunas aireadas, de sedimentación y pulimento manejan el 44.21%** del agua residual tratada, por lo que se podría decir que es la tecnología más importante utilizada actualmente en Lima, aun cuando **no ha mostrado buenos resultados por su alto requerimiento de terreno y elevados costos de inversión**.
- La experiencia más exitosa de Sedapal ha sido el uso de **lagunas anaeróbicas** (complementadas con aireadas y de pulimento), que han permitido reducir el terreno a **solo 0.81 m<sup>2</sup>/habitante**, apenas 33% más que el requerido para lodos activados y sin los costos que implican la aireación, por lo que se confirma su buena performance.
- **Solo dos plantas logran actualmente niveles menores a 1,000 CTT/100 ml** requeridos para el riego irrestricto o la descarga a ríos, por tanto será necesario mejorar los procesos de tratamiento y/o incorporar una desinfección final. **Solo 12 de las 18 plantas (67%) reportan que sus efluentes no contienen huevos de helmintos**, por tanto las plantas deberán incorporar otros procesos para lograr su completa remoción .
- **Sedapal opera el 46.3% de las plantas** más grandes y que manejan el **93% del agua tratada** en Lima. Esta Empresa ha desarrollado diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales, pero sus técnicos orientan sus preferencias a los **sistemas combinados anaeróbicos/aeróbicos**. Sin embargo, las dos mega plantas (Taboada y La Chira) que operarían el **85% de los desagües realizarían solo un tratamiento primario** de remoción de sólidos para disponer las aguas residuales en el mar a través de **emisarios submarinos**.
- Sedapal ha orientado el tratamiento exclusivamente al saneamiento, sin tener en cuenta que buena cantidad del agua residual es destinada para el riego agrícola y de áreas verdes. Aún así es la institución que garantizaría mejor la operación de los

sistemas de tratamiento y por tanto debería **asumir el compromiso de tratar las aguas que se destinen al riego de las áreas verdes**. Es por ello que se propone la necesidad de que los municipios establezcan alianzas estratégicas con Sedapal.

- Los dos megaproyectos juntos tendrían una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/s, que sumados a los 2.6 m<sup>3</sup>/s ya existentes permitirían atender la demanda de los 18.85 m<sup>3</sup>/s que actualmente se generan en Lima. Estas cifras establecerían una **holgura inicial de 3.75 m<sup>3</sup>/s**, sin embargo la nueva Planta de Agua Potable de Huachipa ofrecerá en los próximos meses 5 m<sup>3</sup>/s para la zona norte la ciudad, por tanto **se sumarán 4 m<sup>3</sup>/s de desagües, desapareciendo esa holgura** que se proyectaba para los próximos años. Por otro lado el **90% del agua residual recibiría un nivel de tratamiento primario** y solo el 10% secundario.
- Sin embargo una iniciativa privada promovida por ProInversión pretende incrementar la capacidad de las plantas de tratamiento operadas actualmente por SEDAPAL de 2.6 a 4.0 m<sup>3</sup>/s, por lo que la capacidad instalada en Lima se incrementaría a 24.2 m<sup>3</sup>/s y **permitiría una holgura de 1.2 m<sup>3</sup>/s** luego de incorporar el abastecimiento de la nueva planta de Agua potable de Huachipa.
- Sedapal también ha comprendido el rol que debe asumir para abastecer a la ciudad con aguas residuales tratadas para regar las áreas verdes, reduciendo así el caudal que iría a Taboada y La Chira y sustituyendo el uso para riego de agua potable o de río que podría ser destinada al consumo humano en los próximos años. Por ello está elaborando un estudio para tratar **500 l/s en una planta ubicada en la Atarjea que remplazaría parte del agua del Río Surco que riega las áreas verdes** de 8 distritos de Lima.
- La tecnología utilizada en las plantas evaluadas ha determinado una marcada diferencia de los **costos de tratamiento, que fluctúan entre US\$ 0.22 y 0.69 por metro cúbico de agua para lagunas de estabilización y lodos activados** respectivamente. Sin embargo se debe tener presente que hasta el valor más alto termina siendo **menor que la tarifa de agua potable que antes pagaban por regar las áreas verdes**.
- El Perú cuenta con la **Norma de Saneamiento S.090 para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**, que reglamenta las tecnología de tratamiento convencionales de tratamiento preliminar, tanques Inhoff y de sedimentación, filtros percoladores, lagunas de estabilización, lodos activados y reactores anaeróbicos. Esta norma no se actualiza desde 1989, por tanto no ha incorporado nuevas tecnologías como humedales artificiales y saneamiento ecológico entre otros.
- **La agricultura** desarrollada en áreas periurbanas de Lima Metropolitana **ha disminuido en los últimos 95 años de 60,000 a 12,680 ha**, debido al acelerado crecimiento urbano. Las expectativas al 2040 son que las áreas agrícolas periurbanas seguirán la tendencia decreciente por el avance urbano, a menos que las instituciones responsables **establezcan políticas de protección y opten por un abastecimiento de agua de reuso**.
- El Instituto Metropolitano de Planificación ha iniciado un inventario de las áreas verdes pública de Lima, evaluando hasta el momento 16 distritos que juntos tienen 853 ha. Con esta información se ha proyectado que toda la ciudad tendría **actualmente 2,000 ha de áreas verdes**, valor que se **podría incrementar hasta 3,200 ha** si se habilitan todas las áreas potenciales. La **cobertura actual** de áreas verdes en Lima sería de **2.37 m<sup>2</sup>/hab** y la potencial de 3.72 m<sup>2</sup>/hab, valores que solo representan el 26 y 41% de los recomendados por la OMS. **Estas cifras que deberán ser confirmadas cuando se concluya el inventario completo de la ciudad de Lima y Callao**.

- Existen **otras 1,650 ha** de la ciudad reservadas para **grandes parques públicos** (zonales y metropolitanos), de las cuales el **76% se encuentran habilitadas** para ofrecer servicios recreativos y ambientales, que se sumarían a las áreas verdes distritales y **e elevarían la cobertura a 3.85 m<sup>2</sup>/habitante**. A ello se puede añadir **otras 4,300 ha potenciales** que serían implementadas en el futuro como **proyectos especiales metropolitanos**.
- Si se reconoce que la agricultura periurbana también constituye parte de las áreas verdes de la ciudad, podemos sustentar que actualmente Lima Metropolitana tendría casi **16,000 ha de áreas verdes productivas y recreativas**, que incrementarían la cobertura de áreas verdes a 18.80 m<sup>2</sup>/habitante. Estas cifras podrían elevarse a más **17,000 ha** si se logra implementar las áreas potenciales y los proyectos especiales, valor no es muy superior al actual porque se está asumiendo una **reducción de la actividad agrícola de 12,680 a 8,000 ha en las próximas décadas**. Asumiendo que Lima llegara al 2040 con esta superficie de áreas verdes, podemos estimar que la cobertura de **áreas verdes con agricultura sería de 13.36 m<sup>2</sup>/habitante** y sin incluirla de 7.11 m<sup>2</sup>/habitante.
- Las actuales **12,680 ha agrícolas** son abastecidas con **12 m<sup>3</sup>/s de aguas superficiales de los tres ríos**. Otras 305 ha adicionales ubicadas en zonas áridas son regadas exclusivamente con aguas residuales tratadas. Definitivamente el acceso futuro al agua será cada vez más limitado, ya que la demanda urbana continua creciendo, por tanto es muy posible que se sigan reduciendo las áreas agrícolas, a menos que se sustituya el agua de río por agua residual tratada.
- Solo el **31% del agua tratada es utilizada para el riego** de áreas verdes y agrícolas, descargando los restantes **2,200 l/s** al río o el mar. Este caudal podría ser utilizado para incrementar las áreas verdes de Lima y Callao hasta en **5,200 ha**, siempre que estén ubicadas cerca de los lugares de demanda.
- Lima actualmente estaría gastando **2,300 l/s para el riego de sus áreas verdes recreativas**, caudal atendido por **1,100 l/s del río Surco, 100 l/s directamente del río Rimac y otros 400 l/s de las plantas de tratamiento de aguas residuales**. Por tanto quedaría claro que los **restantes 700 l/s deben ser atendidos con agua potable o subterránea**, valioso recurso que no se estaría utilizando como se debiera, en el consumo de la población de la ciudad.
- **El uso de agua potable representa el 65% del costo del agua de riego**, aun cuando solo constituye el 5% del volumen utilizado, cifra que se elevará el próximo año al doble cuando SEDAPAL aplique la tarifa comercial de US\$ 1.70/m<sup>3</sup> que será autorizada por SUNASS. Es por eso que desde hace ya varios años algunos municipios y entidades privadas han optado por tratar aguas residuales para reemplazar el agua de potable y el agua del río Surco.
- Lima Metropolitana tendría una **demanda potencial de 4.4 m<sup>3</sup>/s para regar sus áreas verdes actuales y proyectadas**, que sería atendida con **2.7 m<sup>3</sup>/s tratados en las plantas existentes** y los restantes **1.7 m<sup>3</sup>/s** requeridos serían generados **por nuevas plantas de tratamiento** ubicadas estratégicamente en las zonas de demanda identificadas.

## 12. SUSTENTACIÓN DEL DESCRIPTOR K – TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES

La Matriz elaborada por el Equipo del Proyecto LIWA para definir los posibles escenarios de la gestión del agua en Lima Metropolitana comprende 13 descriptores, que incluyen el descriptor K sobre Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales.

Una primera definición del descriptor K se realizó sobre la base del grado de tratamiento y reuso de las aguas residuales en Lima, que contemplaba los siguientes sub-escenarios posibles:

- Tratamiento del agua al 80% y sin reutilización
- Tratamiento del agua al 80% y reutilización de 20 al 40%
- Tratamiento del agua al 100% y sin reutilización
- Tratamiento del agua al 100% y reutilización de 20 al 40%

Teniendo en cuenta que SEDAPAL asegura que en el 2014 las aguas residuales de Lima serán tratadas al 100%, durante el proceso de construcción de la matriz se acordó que bajo esa premisa, la única variable que quedaba por cuantificar era el reuso, por tanto se definieron para el descriptor K los siguientes dos sub-escenarios:

- K1: Tratamiento al 95%, con reutilización de 5% (situación actual)
- K2: Tratamiento al 95%, con reutilización de 20 a 40%

No se consideró 100% de cobertura de tratamiento en el entendido que siempre se tendría una pequeña porción de desagües (5%) que no podrán ser canalizados al sistema de alcantarillado.

Luego en una segunda etapa y frente a la necesidad de definir con mayor precisión este descriptor se procedió a elaborar el presente estudio, que ha permitido cuantificar mejor la situación actual y los dos posibles sub-escenarios para el 2040.

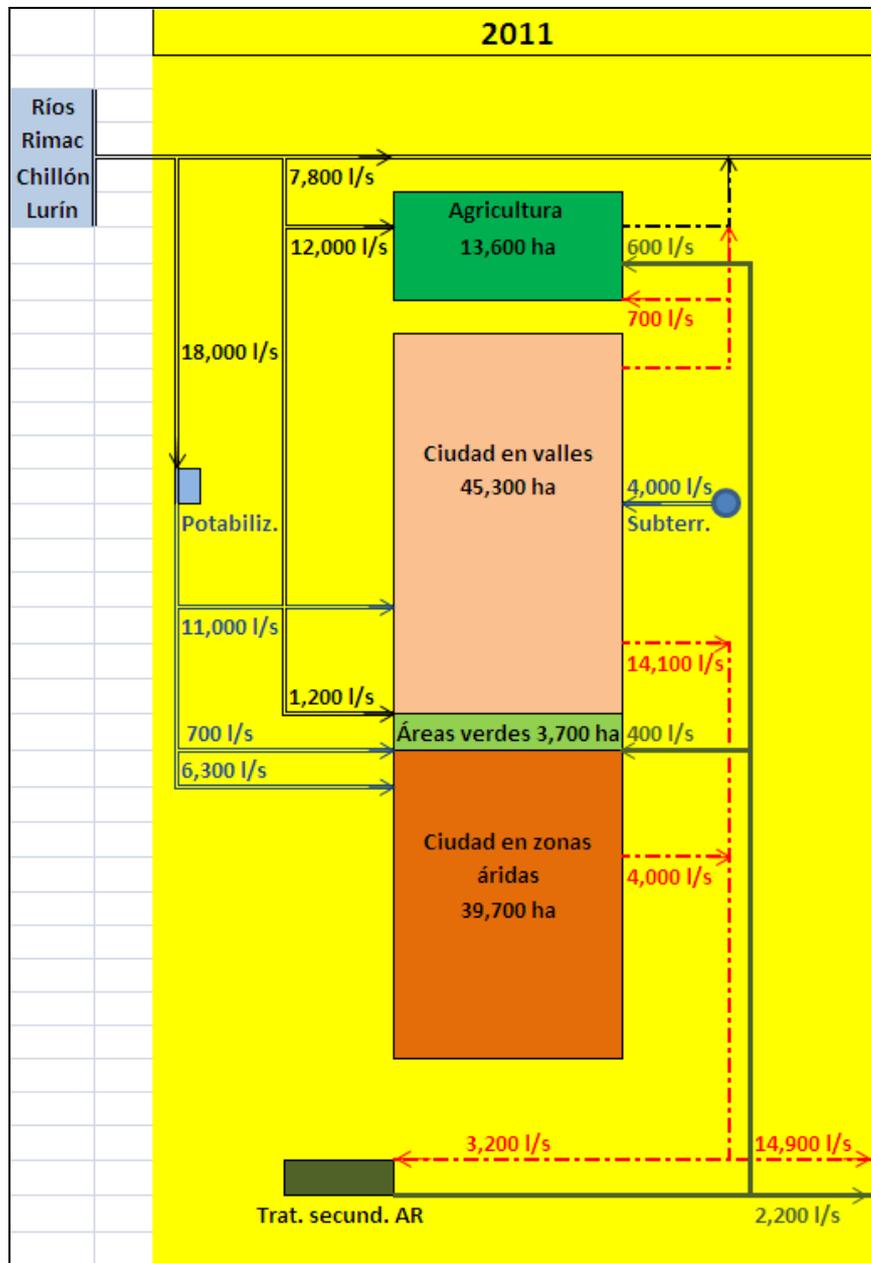
### 12.1. Resumen de la situación actual

Las conclusiones descritas en el punto anterior de este estudio nos permiten resumir la situación actual de las aguas residuales en Lima de la siguiente forma:

- Actualmente se está brindando **tratamiento secundario** a 3,200 l/s de aguas residuales, lo que implica un **17%** del total generado.
- En el 2014 operarán las dos megaplantas de Taboada y La Chira con tratamiento primario, por lo que se puede aceptar que en corto plazo la situación de las aguas residuales será de un 95% de tratamiento, **78% de nivel primario y 17% secundario**.
- Por otro lado en estos momentos se está **reusando apenas 1,000 l/s** de agua residual tratada, valor que equivale al **5%** del volumen generado por la ciudad.
- Por último se debe mencionar que las **3,700 ha de áreas verdes recreativas** de Lima se están regando con **2,300 l/s**, de los cuales 1,200 l/s son agua de río, 700 l/s de agua potable y subterránea, así como **400 l/s de aguas residuales tratadas**.

La figura 10 ilustra la situación actual del manejo de las aguas residuales en Lima Metropolitana, incluyendo las fuentes de agua que abastecen tanto a la ciudad como al riego agrícola de áreas verdes.

**Figura 10. Situación actual del manejo de las aguas residuales en Lima**



Fuente: elaboración propia.

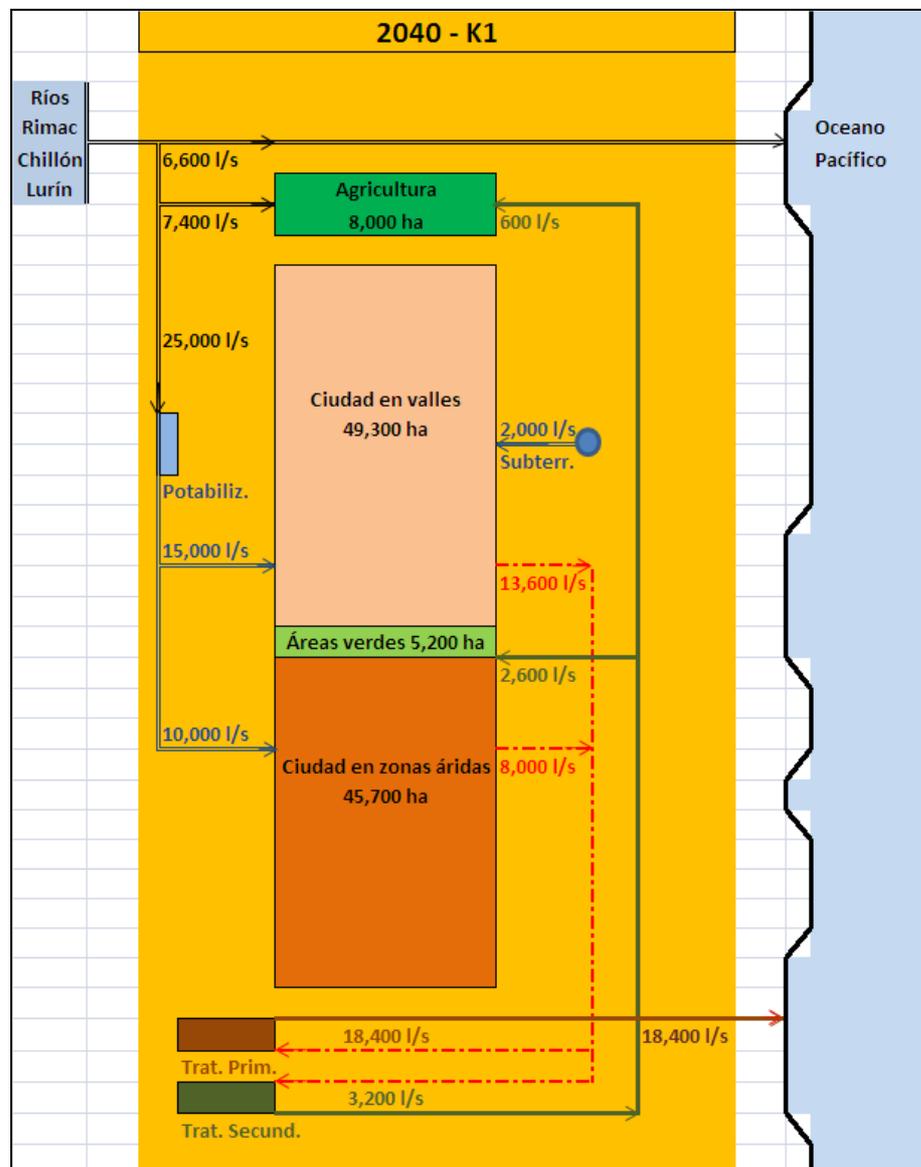
## 12.2. Proyección de escenarios al 2040

La situación actual antes señalada nos lleva a prever dos escenarios probables para el 2040, uno en que se mantengan las condiciones similares a las presentes u otro que se mejore significativamente el reuso, y por tanto se incremente el tratamiento secundario de las aguas residuales. Estos dos sub-escenarios serían los siguientes:

### K1: Tratamiento primario al 85% y secundario al 15% para su reutilización

- **Se mantiene** la misma capacidad de **tratamiento secundario** que se tiene en la actualidad y que en el 2040 representaría un cobertura de **15%**.
- Se mantiene el tratamiento primario al resto del agua residual recolectada en la ciudad, operando los megaproyectos La Taboada y La Chira que juntas tendrán una capacidad de hasta 20 m<sup>3</sup>/s.
- **Se aprovecha totalmente el 15% del agua residual con tratamiento secundario** en el riego principalmente de áreas verdes, por lo que se reemplaza toda el agua potable y de río actualmente utilizada en el riego de las áreas verdes. Esto permite **incrementar las áreas verdes de la ciudad hasta 5,200 ha.**

Figura 11. Escenario K1 para el manejo de las aguas residuales en Lima al 2040

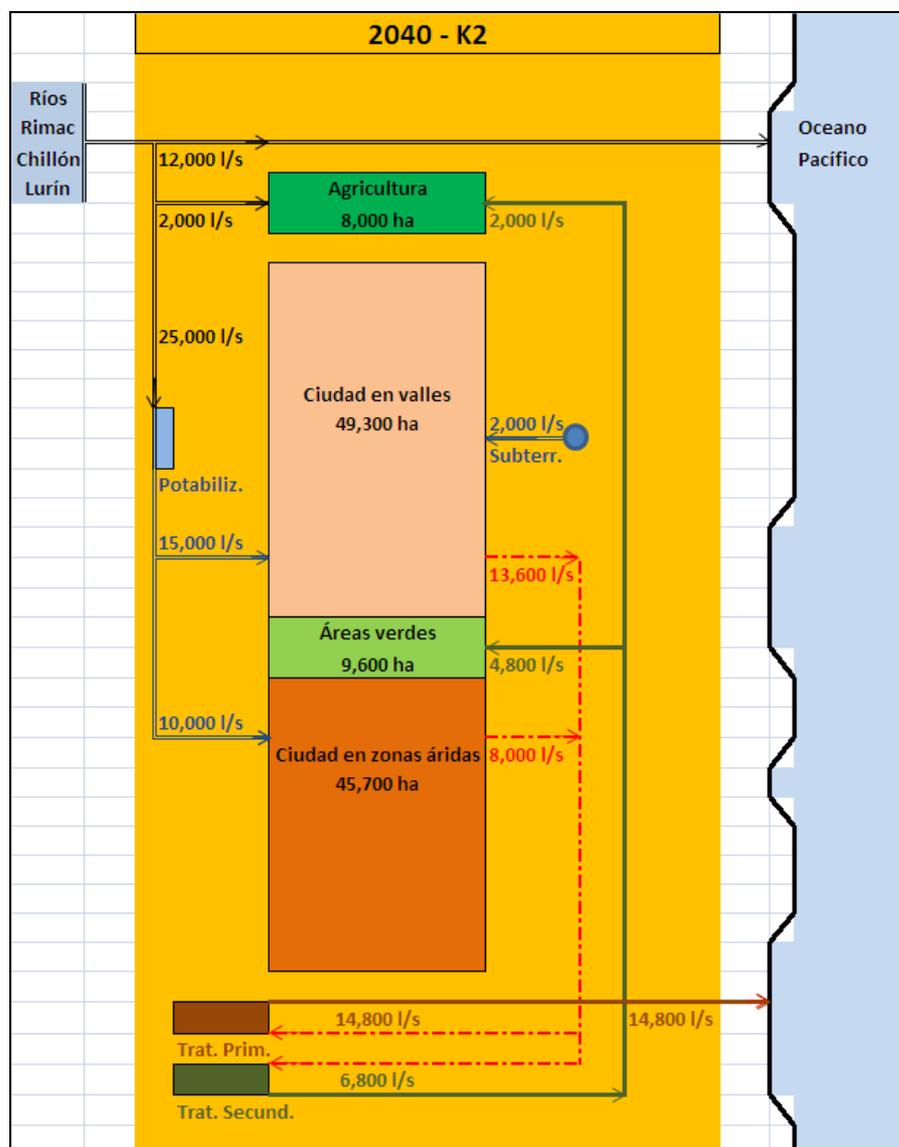


Fuente: elaboración propia.

## K2: Tratamiento primario al 69% y secundario al 31% para su reutilización

- Se eleva la cobertura de tratamiento secundario a 31% para poder regar con 6,800 l/s alrededor de las 9,600 ha de áreas verdes proyectadas en Lima y 4,000 ha de agricultura que ahora usa agua de río.
- Se mantiene el tratamiento primario al resto del agua residual recolectada por la ciudad (69%), operando los megaproyectos La Taboada y La Chira, que en este caso alargarían su tiempo de operación respecto a su máxima capacidad.

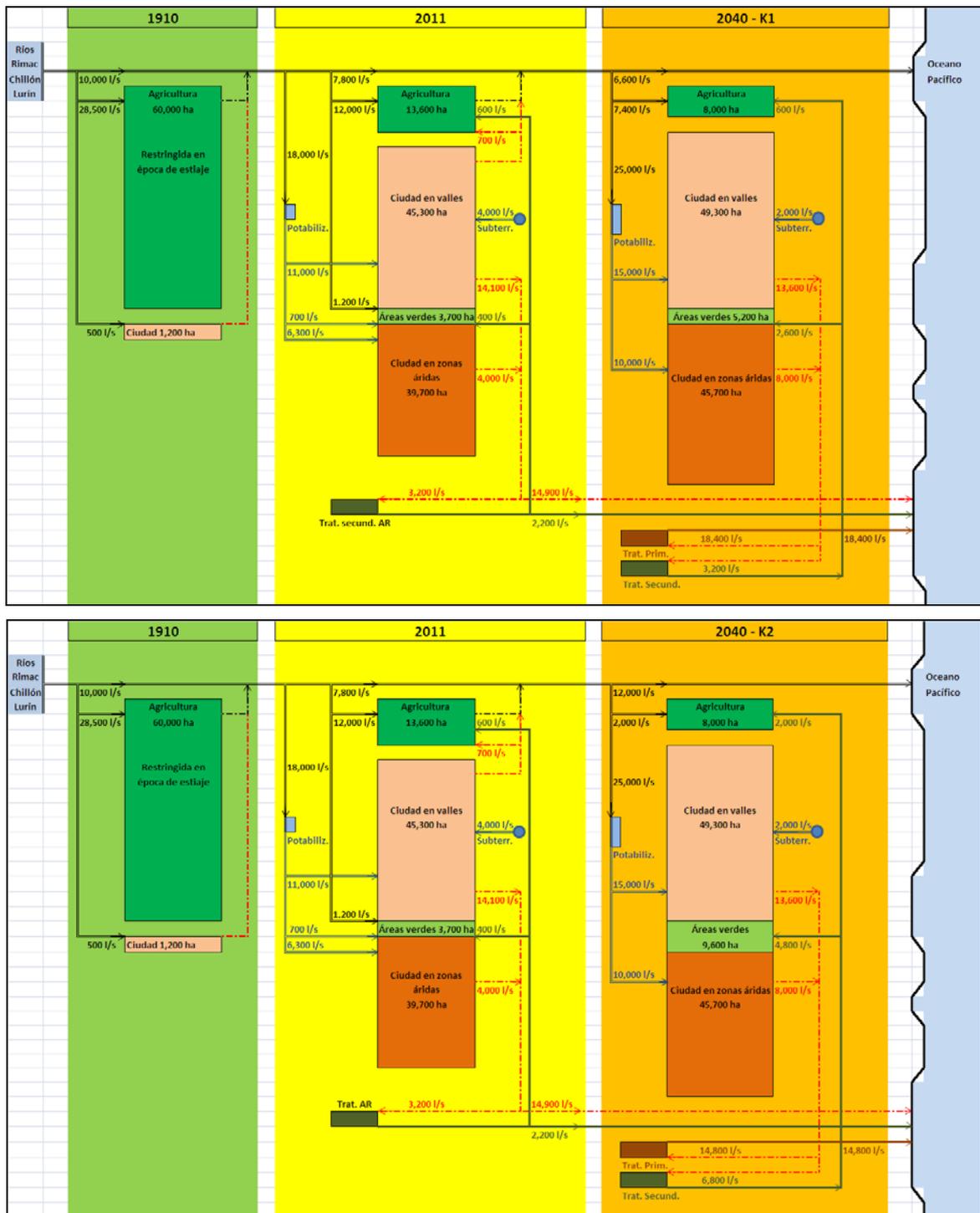
Figura 12. Escenario K2 para el manejo de las aguas residuales en Lima al 2040



Fuente: elaboración propia.

Una ilustración más holística de la situación pasada (1910), la actual y la proyección de escenarios pesimista y optimista para el 2040 respecto a la gestión del agua en Lima metropolitana se muestra en la figura 13.

Figura 13. Situación histórica y proyecciones de la gestión del agua en Lima



Fuente: elaboración propia.

Es relevante comentar que la principal diferencia entre los dos escenarios propuesto para el 2040 radica en la decisión de incrementar el **tratamiento secundario** para reusar mayor cantidad de agua residual en el riego de las áreas verdes que la ciudad pretende desarrollar en los próximos años. Debe quedar claro que los megaproyectos de La Taboada y La Chira aplicaran un **tratamiento primario** antes de disponer el agua en el mar, por tanto no es apropiado para el reuso.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **ANA. 2009.** Resolución Jefatural No. 0291-2009 ANA, del 1 de junio de 2009. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
- **ANA. 2009.** Resolución Jefatural No. 0351-2009 ANA, del 26 de junio de 2009. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
- **Congreso de la República. 2009.** Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, promulgada el 23 de marzo de 2009. Lima, Perú.
- **De Rivero. 2009.** Lima Paisajismo. SUPERSUDACA Perú 51-1 Arquitectos. Lima, Perú.
- **León G. y J. Moscoso. 1996.** Curso de tratamiento y uso de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.
- **IMP. 2008.** Atlas Ambiental de Lima 2008. Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima. Lima, Perú.
- **IMP. 2010.** Inventario de Áreas Verdes a nivel Metropolitano. Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima. Lima, Perú.
- **INEI. 2000.** Tendencias de crecimiento urbano de Lima Metropolitana al año 2015. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú.
- **INEI. 2007.** Censos Nacionales 2007: XI de Población y Vide Vivienda. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://www.inei.gob.pe>
- **IPES. 2009.** Estudios de Caso de Experiencias de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en la Ciudad de Lima, Perú. IPES - Promoción para el Desarrollo Sostenible, Fundación RUA y Proyecto Global SWITCH (documento de trabajo).
- **Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Chillón. 2010.** Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Chillón. Distrito de Riego de Rimac, Lurín y Chillón. Ministerio de Agricultura. Lima Perú.
- **Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Lurín. 2010.** Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Lurín. Distrito de Riego de Rimac, Lurín y Chillón. Ministerio de Agricultura. Lima Perú.
- **Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Rímac. 2010.** Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Rímac. Distrito de Riego de Rimac, Lurín y Chillón. Ministerio de Agricultura. Lima Perú.
- **Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Rímac. 2010.** Memoria 2010 de la Junta de Usuarios del río Rímac. Distrito de Riego de Rimac, Lurín y Chillón. Ministerio de Agricultura. Lima Perú.
- **Comisión de Regantes del Subsector de Riego Surco. 2010.** Padrón de Uso Agrícola de la Junta de Usuarios del río Surco.. Ministerio de Agricultura. Lima Perú.
- **MINAM. 2008.** Decreto Supremo No. 002-2008-MINAM, del 31 de julio de 2008. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.
- **Moscoso Julio, Hugo Nava y Alberto Flórez. 1992.** Proyecto de Investigación “Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales tratadas en las Lagunas de San Juan, Sección IV – Factibilidad técnica, económica y Social. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.
- **Moscoso, Julio y Tomás Alfaro. 2008.** Panorama de las Experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en Lima y Callao. Proyecto Global SWITCH. Cuaderno de

Agricultura Urbana No. 6. 60 pp. IPES Promoción del Desarrollo Sostenible y Fundación RUAFA. Lima, Perú.

- **ProInversión. 2011.** Declaración de interés de la iniciativa privada "operación, mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de plantas de tratamiento de agua residual de sedapal" presentada por proactiva medio ambiente s.a. Agencia de Promoción de la Inversión Privada. Lima, Perú.
- **Sandoval, Pedro. 2009.** Informe Técnico "Asesoría para la Evaluación de Costos de Inversión y Operación y Mantenimiento de la Iniciativa Privada Operación y mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de las 18 plantas de tratamiento de Aguas Residuales de Sedapal. 92 pp. Consultoría al Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal). Lima, Perú.
- **SUNASS. 2004.** Reporte Situacional de Abastecimiento de Agua Potable a la ciudad de Lima. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Lima, Perú.
- **SUNASS. 2006.** Resolución 034-2006-SUNAS-CD que aprueba la la Fórmula Tarifaria, Estructura Tarifarias y Metas de Gestión del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima – Sedapal, Lima, Perú.
- **SUNASS. 2008.** Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Lima, Perú.