

Proyecto Regional

Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial

Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS
2000 - 2002

Avances en la tipología del manejo de las aguas residuales domésticas en América Latina

*Ing. Julio Moscoso Cavallini,
Asesor en Uso de Aguas Residuales e
Investigador Principal del Proyecto*

*Ing. Luis Egocheaga Young
Investigador Asociado del Proyecto*



Centro Internacional de Investigaciones
para el Desarrollo, Canadá



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
División de Salud y Ambiente
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Lima, 2003

© Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) se reserva todos los derechos. El contenido de este documento puede ser reseñado, reproducido o traducido, total o parcialmente, sin autorización previa, a condición de que se especifique la fuente y de que no se use para fines comerciales.

OPS/CEPIS es una agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

Los Pinos 259, Lima, Perú
Casilla de correo 4337, Lima 100, Perú
Teléfono: (511) 437 1077
Fax: (511) 437 8289
cepis@cepis.ops-oms.org
<http://www.cepis.ops-oms.org>

CONTENIDO

	Página
1. Antecedentes y justificación.....	4
2. Objetivos.....	5
3. Metodología.....	5
4. Definición de los perfiles tipológicos.....	7
5. Recopilación y ordenamiento de la información.....	9
6. Análisis de los perfiles tipológicos	11
7. Identificación de los aspectos considerados críticos para la implementación de Sistemas integrados	47

TIPOLOGÍA DEL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN AMÉRICA LATINA

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En poco más de 40 años América Latina se ha transformado en una de las regiones con mayor concentración de población en áreas urbanas, las que a principios de este siglo ya albergaban a más de 360 millones de habitantes (75% de su población total, en contraste con el promedio mundial de 50%). Dos aspectos resaltan de esta situación: (i) el acelerado y desordenado crecimiento urbano; y (ii) la intensa migración de las áreas rurales, lo que ha obligado a los gobiernos a otorgar prioridad a la atención de necesidades básicas (principalmente agua potable, alimentación, atención de la salud y educación), relegando otros servicios, entre ellos la disposición y tratamiento adecuados de los residuos. En consecuencia, entre 1995 y 1998 la cobertura de tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Región disminuyó de 19% a 14%, lo que significa un mayor riesgo de diseminación de enfermedades entéricas (una de las principales causas de mortalidad) transmitidas a través de los patógenos presentes en estas aguas.

Por otra parte, la creciente demanda de recursos hídricos y áreas para el crecimiento de las ciudades ha disminuido la disponibilidad de agua y tierra para la agricultura, lo que ha determinado la existencia de más de 500.000 ha agrícolas regadas con aguas residuales, en su mayor parte sin tratamiento, incrementando este riesgo de transmisión de enfermedades a poblaciones de agricultores y consumidores de los productos regados. Algunas empresas de servicios de agua y saneamiento y entidades e instituciones gubernamentales y técnicas de la Región han iniciado esfuerzos para tratar las aguas residuales domésticas con criterios de salud pública, y utilizar los efluentes tratados en diversas aplicaciones agrícolas. Sin embargo, la mayoría de los aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos involucrados en el manejo de las aguas residuales domésticas no son aún del todo conocidos, y la información disponible acerca de este nuevo entorno es escasa y dispersa. La mayoría de fuentes cita sólo algunos de sus componentes, y muy pocas han analizado causas y efectos del actual manejo de las aguas residuales en la Región.

El proyecto “Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial”, ejecutado entre 2000 y 2002 por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) gracias a un Convenio entre el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (IDRC) y la Organización Panamericana de la Salud, permitió iniciar un Inventario Regional del manejo de las aguas residuales domésticas, documentar y sistematizar experiencias existentes de tratamiento y uso de aguas residuales en la Región, definir y recomendar estrategias para el diseño e implementación de sistemas integrados, e identificar nuevas oportunidades de intervención. Un importante aspecto complementario en esta evaluación es la caracterización de las diferentes situaciones del manejo de las aguas residuales existentes en la Región, lo que se ha denominado la tipología del manejo. Esta tipología facilitará una evaluación sistemática de las experiencias de manejo documentadas en el Proyecto Regional, e identificar los principales aspectos condicionantes para la viabilidad de los sistemas integrados. El presente informe aborda los objetivos, metodología y análisis de la tipología definida para estas situaciones de manejo de las aguas residuales domésticas.

2. OBJETIVOS

La elaboración de la tipología del manejo de las aguas residuales tiene por objetivos:

- Definir un **perfil tipológico** del tratamiento y uso de las aguas residuales, diferenciándolo de acuerdo a las cuatro situaciones definidas en el Proyecto Regional REUSO (CT-CR, CT-SR, ST-CR y ST-SR).
- Analizar las experiencias de manejo de las aguas residuales en la Región.
- Identificar los **aspectos críticos** para cada situación de manejo que condicionan la viabilidad de un sistema integrado de tratamiento y uso.

Esta tipología será un reporte del “estado del arte” del manejo de las aguas residuales, resultado del análisis del estado actual de esta actividad en la Región. Asimismo, facilitará la elaboración de directrices y recomendaciones para los tomadores de decisión, con relación al manejo adecuado de los vertimientos urbanos en la Región.

3. METODOLOGÍA

El proceso se desarrolló en cuatro etapas: (i) definición del perfil tipológico (selección de los aspectos que caracterizan el tratamiento y uso de las aguas residuales); (ii) recopilación y ordenamiento de la información; (iii) análisis de los perfiles tipológicos de las cuatro situaciones de manejo de las aguas residuales (CT-CR, CT-SR, ST-CR y ST-SR); y (iv) identificación de los aspectos que se consideren críticos para la implementación de sistemas integrados. El Cuadro 1 resume el proceso metodológico aplicado.

3.1 Definición del perfil tipológico.

Se tomó como referencias los formatos del Inventario Regional y los diagnósticos elaborados en los Estudios Generales para seleccionar los aspectos que caracterizan el tratamiento y uso agrícola de las aguas residuales domésticas. Estos aspectos se agruparon en categorías mayores para facilitar su análisis.

Se elaboró una matriz que relaciona el perfil tipológico con las cuatro situaciones de manejo de las aguas residuales definidas en el Proyecto REUSO: CT-CR, CT-SR, ST-CR y ST-SR. En cada situación se consignó los casos de estudio comprendidos en las diferentes etapas del proyecto.

Cuadro 1. Objetivos, resultados y actividades del proceso

Objetivos	Resultados	Actividades
1. Definición del perfil tipológico del tratamiento y uso de las aguas residuales, diferenciado de acuerdo a las cuatro situaciones de manejo de aguas residuales (CT-CR, CT-SR, ST-CR y ST-SR).	1.1 Matriz del perfil tipográfico para cada situación de manejo.	1.1.1 Definición de las variables de la tipología.
		1.1.2 Elaboración de la matriz de análisis de la información.
2. Análisis de las experiencias de manejo de las aguas residuales en la Región.	2.1 Perfil tipográfico de cada situación de manejo.	2.1.1 Recopilación y ordenamiento de información de diferentes fuentes (Inventarios, Estudios G/C/V, documentos del Comité Técnico).
	2.2 Identificación de semejanzas, diferencias y relaciones entre variables.	2.1.2 Análisis de la información entre casos en la misma situación de manejo y entre situaciones de manejo diferentes.
3. Identificación de los aspectos críticos para cada situación de manejo, que condicionan la viabilidad de un sistema integrado de tratamiento y uso.	3.1 Aspectos críticos identificados para cada situación de manejo.	3.1.1 Análisis de cada situación de manejo con relación a los aspectos determinantes para la viabilidad de los sistemas integrados.
		3.1.2 Identificación de las diferencias más importantes entre el sistema integrado y las cuatro situaciones de manejo.
	3.2 Riesgos identificados a la salud y al ambiente.	3.2.1 Identificación y evaluación de riesgos a la salud y al ambiente asociados a cada situación de manejo.
	3.3 Estrategias sugeridas para cada situación de manejo.	3.3.1 Propuesta de estrategias específicas para cada situación de manejo.

3.2 Recopilación y ordenamiento de la información.

Definido el perfil tipológico, se procedió a recopilar y revisar la información obtenida de las fuentes disponibles, generada mayormente dentro del marco del Proyecto REUSO. Estas fuentes son las siguientes:

- El Inventario Regional del manejo de las aguas residuales.
- Los 18 Estudios Generales.
- Los 11 Estudios Complementarios.
- Los siete Estudios de Viabilidad.
- Los Informes del Comité Técnico del Proyecto REUSO.
- La Evaluación Regional 2000: Agua y Saneamiento en Las Américas.
- ENCARTA 2003 de Windows

3.3 Análisis de los perfiles tipológicos de las cuatro situaciones de manejo de las aguas residuales.

La matriz proporcionó información sistematizada para evaluar semejanzas, diferencias, rangos, tendencias y otros aspectos en tres dimensiones: entre todos los casos de estudio, entre los casos de estudio pertenecientes a la misma situación de manejo, y entre las cuatro situaciones.

3.4 Identificación de los aspectos considerados críticos para la implementación de sistemas integrados.

Con los antecedentes recopilados por el Proyecto REUSO (los aspectos determinantes para la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados), se procedió a identificar aquellos considerados críticos para cada caso de estudio y para cada situación de manejo.

4. DEFINICIÓN DEL PERFIL TIPOLÓGICO

A base de una primera revisión de la información disponible, se seleccionaron en total 46 aspectos específicos, los que se agruparon en ocho categorías: contexto general, recursos agua y suelo, agua y saneamiento, reuso, impactos ambientales, marco legal, actores sociales, y económicos.

La selección de los aspectos específicos para la caracterización se realizó considerando dos criterios principales: (i) la idoneidad de cada aspecto para describir una situación específica; y (ii) la utilidad de cada aspecto para realizar el análisis comparativo. Se definió la matriz de evaluación agrupando los 18 casos de estudio en las cuatro situaciones de manejo definidas en el Proyecto REUSO, como se muestra en el Cuadro 2.

La mayoría de aspectos específicos seleccionados permiten caracterizar la totalidad de casos de estudio y permitirán realizar ambas evaluaciones (entre casos de estudio y entre situaciones de manejo); algunos de estos aspectos específicos sólo se aplican a determinadas situaciones, y se utilizarán para realizar comparaciones entre los casos de estudio dentro de una misma situación.

Cuadro 2. Matriz de caracterización del manejo de las aguas residuales

Aspectos relevantes para la tipología		Situaciones de manejo				
		CT-CR (8 casos)	CT-SR (4 casos)	ST-CR (2 casos)	ST-SR (4 casos)	
Contexto general	Descripción geográfica		Situación de cada aspecto relevante en cada Caso de estudio			
	Población (habitantes)	Urbana				
		Rural				
	Localización	Altitud (metros)				
Latitud (grados)						
Principales actividades económicas						
Recursos agua y suelo	Clima	Clase				
		Precipitación (mm)				
		Temperatura (°C)				
	Principales recursos hídricos para riego					
Mayor capacidad de uso de suelos						
Principales cultivos						
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)				
		Alcantarillado (%)				
		Tratamiento (%)				
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)				
		Caudal tratado (l/s)				
		Tecnología de tratamiento				
		Área de tratamiento (ha)				
		Calidad sanitaria del efluente				Coliformes fecales (NMP/100 ml)
			Huevos de nemátodos (número/l)			
		Disposición final de las aguas residuales				
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)					
	Demanda de agua residual para riego (por agua y por nutrientes)					
	Cultivos irrigados					
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego					
	Principales mercados de consumo					
	Propuesta de reuso					
Impactos ambientales	En la salud humana					
	En los ambientes de descarga					
Marco legal	Normas legales para el tratamiento					
	Normas legales para el uso de aguas residuales					
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales					
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa				
		Año de inicio de operaciones de la planta				
		Población atendida				
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización				
		Tenencia de la tierra				
Otros actores relevantes						
Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores						
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre				
		Tarifa (\$/m ³)				
	Costo del tratamiento (\$/m ³)					
Costo del agua para riego (\$/m ³)						

5. RECOPIACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La recopilación de la información se realizó a partir de las siguientes fuentes obtenidas principalmente durante el Proyecto Regional de REUSO:

- Del Inventario Regional del manejo de las aguas residuales.

Este documento, aún en proceso de elaboración, incluye información consolidada de 13 países de la Región (Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Nicaragua y Paraguay completaron los formularios requeridos; Bolivia, Ecuador, Guatemala, Perú, República Dominicana y Venezuela remitieron información parcial, mientras que Brasil, Cuba, El Salvador, Honduras, Panamá y Uruguay no enviaron ninguna información de utilidad). Un avance resumido del Inventario Regional se puede consultar en la siguiente página: <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/proyecto/Inventario-Resumen.pdf>

Algunas de las localidades que corresponden a los casos de estudio se encuentran referidas en este Inventario, lo que permitió validar y complementar la información consignada en otras fuentes.

- De los 18 Estudios Generales.

La principal (y en algunos casos la única) fuente de información la constituyen estos 18 estudios, que contienen información general de cada país y localidad en estudio. En los casos de los que se dispone de otros estudios, se realizó una validación de la información recopilada para ser consignada en la matriz de evaluación. En algunos casos se detectó diferencias entre las fuentes, consignándose la información más consistente con el contexto de cada caso. Los resúmenes y el texto completo de los 18 Estudios generales se pueden ver en <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/proyecto/generales/generales.html>

- De los 11 Estudios Complementarios.

En forma similar se procedió a revisar estas fuentes, a fin de completar la descripción de algunos aspectos específicos no abordados en los documentos anteriores. También los resúmenes y el texto completo de estos Estudios complementarios se puede ver en <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/proyecto/complemen/complemen.html>

- De los siete Estudios de Viabilidad.

La tercera y última etapa del Proyecto REUSO consideró la elaboración de estos siete estudios, que permitieron elaborar una propuesta de sistema integrado para sendas localidades. Esta revisión aportó información de las propuestas para el tratamiento y el uso agrícola, y permitió validar y esclarecer algunas contradicciones detectadas en los documentos anteriores. Estos estudios se encuentran en <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/proyecto/viabilidad/viabilidad.html>

- De los informes del Comité Técnico del Proyecto REUSO.

Los miembros del Comité Técnico del Proyecto aportaron una serie de documentos de análisis en cada etapa del programa; estos documentos fueron revisados para validar y mejorar la evaluación.

- De la Evaluación Regional 2000: Agua y Saneamiento en Las Américas.

Aunque limitada con respecto a los aspectos específicos del manejo de las aguas residuales, esta evaluación aportó el contexto de la Región al análisis y a la formulación de propuestas de estrategias para la implementación de sistemas integrados en cada situación de manejo. Este informe se puede ver en <http://www.cepis.org.pe/bvsacep/e/images/bannas.gif>

- De ENCARTA 2003 de Windows.

Esta biblioteca virtual aportó datos puntuales de diversos aspectos específicos que, en algunos casos, no fueron consignados en la mayoría de los estudios, como la descripción geográfica y la altitud.

- Otras fuentes.

Algunas otras fuentes fueron consultadas para completar la información necesaria, entre las que se incluye páginas web (de algunas empresas de agua y saneamiento) y diversa bibliografía.

La matriz de caracterización completa se presenta en el [Cuadro 3](#).

6. ANÁLISIS DE LOS PERFILES TIPOLOGICOS DE LAS CUATRO SITUACIONES DE MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se ha referido que la matriz contiene información sistematizada para evaluar los 18 casos de estudio entre sí, los casos pertenecientes a la misma situación de manejo, y las cuatro situaciones entre sí. Estos casos de estudio se agrupan en las cuatro situaciones de manejo como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1. Distribución de los 18 casos de estudio en las cuatro situaciones de manejo.

	Con tratamiento	Sin tratamiento
Con reúso	Antofagasta (Chile) Cochabamba (Bolivia) Juárez (México) La Vega (Rep. Dominicana) Mendoza (Argentina) Tacna (Perú) Texcoco (México) Villa El Salvador (Perú)	Mezquital (México) San Agustín (Perú) San Martín (Argentina) Santiago (Chile)
Sin reúso	Fortaleza (Brasil) Maracaibo (Venezuela) Portoviejo (Ecuador) Puntarenas (Costa Rica)	Ibagué (Colombia) Jinotepe (Nicaragua) Luque (Paraguay) Sololá (Guatemala)

6.1 Análisis entre todos los casos estudiados

La evaluación se realizó por categoría de aspectos (ocho categorías en total), así como algunas relaciones entre estas categorías. El propósito fue identificar elementos comunes o diferenciados en función a las condiciones de manejo.

6.1.1 Contexto general

El Cuadro 4 resume las principales características del contexto general de los casos de estudio. Se considera la descripción geográfica (principal accidente geográfico), población (urbana y rural), localización (altitud y latitud) y las principales actividades económicas.

La mayoría de casos de estudio está asociado a valles, ubicación preferente de los polos urbanos por el acceso al agua, predominando los valles andinos (cinco casos). Se presentan casos notables, como Villa El Salvador (Perú) y Antofagasta (Chile), que se desarrollan en áreas desérticas, en las cuales la disponibilidad de agua es mucho menor, y Texcoco (México), que aborda el caso de un lago formado artificialmente.

El tamaño de población urbana fluctúa entre 2.350 (Fortaleza, Brasil) y 13'100.000 de habitantes en Texcoco; San Agustín (Perú) es el único caso que no refiere población urbana involucrada. De acuerdo a la clasificación de ciudades por el tamaño de la población (número de habitantes) utilizada en el Inventario Regional, los 18 estudios de caso se clasifican en las siguientes categorías:

- 2 ciudades muy pequeñas (entre 2.000 y 10.000): Fortaleza y San Agustín;
- 4 ciudades pequeñas (entre 10.000 y 100.000): La Vega, Liberia, Sololá y Jinotepe;
- 7 ciudades intermedias (entre 100.000 y 1.000.000): Cochabamba, Antofagasta, Tacna, Villa El Salvador, Portoviejo, Ibagué y Luque;
- 5 ciudades grandes (más de 1.000.000): Mendoza, Juárez, Texcoco, Maracaibo y Santiago

Cuadro 4. Resumen del contexto general de los casos de estudio

Aspectos generales	Aspectos específicos		Análisis global
Contexto general	Descripción geográfica		1 valle mesopotámico, 5 valles andinos, 2 desiertos costeros, 1 pradera subtropical, 1 lago artificial, 2 valle costero, 1 suburbio urbano, 1 pradera tropical, 2 valle ribereño, 1 ribera lacustre
	Población (número de habitantes)	Urbana	Muy pequeñas: 2; pequeñas: 4; intermedias: 7; grandes: 5
		Rural	7 casos no reportan población rural; el promedio de población urbana es 77,3%
	Localización	Altitud (m)	Mínima: 40 (San Agustín); máxima: 2.560 (Juárez)
		Latitud (°)	Entre 31°44' N (Juárez) y 33°27' S (Santiago)
Principales actividades económicas		Agricultura: 6; minería: 2; industria: 7; comercio: 3	

Las poblaciones intermedias son las más numerosas, seguidas de las grandes y pequeñas. Entre los diez casos que se reportó población urbana y rural en el área de influencia del proyecto, el porcentaje de población urbana fluctúa entre 33% (Sololá, Guatemala) y 99% del total (Antofagasta y Juárez, México). El promedio es 77,3%, lo que confirma la tendencia regional de alta concentración de población en ciudades.

La altitud fluctúa entre los 40 metros en San Agustín y 2.560 en Cochabamba (Bolivia), que con Texcoco, son los dos casos que superan los 2.000 metros. La mayoría de casos se localiza entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio ((23°27' N y 23°27' S respectivamente); sólo Juárez se encuentra más al norte (31°44' N) y más al sur Mendoza (Argentina, 32°53' S), Antofagasta (23°38' S), Santiago (Chile, 33°27' S) y Luque (Paraguay, 25°15' S).

En siete casos la principal actividad es la industria; sigue en importancia la agricultura (seis casos) y en menor grado el comercio (tres casos) y minería (incluyendo petróleo, dos casos). La agricultura no figura entre las actividades de mayor importancia en Antofagasta, Tacna (Perú), Fortaleza, Maracaibo (Venezuela), y Santiago.

6.1.2 Recursos de agua y suelo

Entre los aspectos específicos considerados en esta categoría se incluye el clima (tipo de clima, precipitación y temperatura), los principales recursos hídricos para riego, la mayor capacidad de uso del suelo y los principales cultivos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Recursos de agua y suelo

Aspectos generales	Aspectos específicos		Análisis global
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Tropical húmedo: 5; tropical semi-árido: 2; subtropical húmedo: 1; subtropical árido: 2; templado húmedo: 2; templado semi-árido: 3; templado árido: 3
		Precipitación (mm)	Mínima: menos de 2 (San Agustín); máxima: 2.000 (Ibagué); promedio: 750.
		Temperatura (°C)	Mínima: -6 (Juárez); máxima: 41 (Juárez); promedio: 21,7
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial: 15; pluvial: 2; residual: 1
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales: 13; cultivos perennes: 5
Principales cultivos		Hortalizas: 3; cereales: 8; forrajes: 1; industriales: 1; frutales: 4; tubérculos: 1	

La mitad de los casos se localiza en clima tropical (tropical húmedo: cinco; tropical semiárido: dos) con un rango de temperaturas entre -6° y 41° C (en ambos casos en Juárez) y temperatura media de 21,7° C. Predominan los climas poco lluviosos (semiáridos: cinco; áridos: cinco), con un rango de precipitación anual entre menos de 2 mm en San Agustín, a 2.000 mm en Ibagué (Colombia). El promedio de precipitación es 750 mm.

Las aguas superficiales se reportan como la principal fuente de agua para riego en 15 casos, seguida de la precipitación pluvial en Fortaleza y Liberia (Costa Rica), y agua residual como única fuente de agua para riego en Villa El Salvador.

Con respecto a la capacidad de uso de suelos, 13 de los 18 casos reportan que la mayor capacidad de uso corresponde a cultivos temporales, y el resto a cultivos perennes. Los cereales son los cultivos más importantes en ocho casos, seguido de frutales (cuatro casos) y hortalizas (tres casos).

6.1.3 Agua potable y saneamiento

Los aspectos específicos considerados en esta categoría son la cobertura de servicios (agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales), aspectos del tratamiento (caudal generado y tratado, tecnología de tratamiento, área de la planta, calidad sanitaria del efluente (colimetría fecal y parásitos) y disposición final de las aguas residuales tratadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Agua potable y saneamiento

Aspectos generales	Aspectos específicos		Análisis global
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Mínima: 51% (Cochabamba); máxima: 100% (Santiago); promedio: 86% (de 16 casos)
		Alcantarillado (%)	Mínima: 25,9% (Liberia); máxima: 98,0% (Santiago); promedio: 65,5% (de 16 casos)
		Tratamiento (%)	Mínima: 2,2% (Villa El Salvador); máxima: 90% (La Vega); promedio: 36,1% (de 10 casos)
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Mínimo: 2 (Jinotepe); máximo: 28.000 (Texcoco); promedio: 4.946 (de 18 casos)
		Caudal tratado (l/s)	Mínimo: 2 (Jinotepe); máximo: 5.000 (Portoviejo); promedio: 1.275,9 (de 15 casos)
		Tecnología de tratamiento	Lagunas facultativas/de estabilización: 6; lodos activados: 3; mixtos: 3; otros: 3
		Área de tratamiento (ha)	Mínima: 0,1 (Antofagasta); máxima: 280 (Mendoza); promedio: 48,8 (de 12 casos)
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Mínima: 5,1E+01 (Fortaleza); máxima: 2,4E+06 (Liberia); promedio: 4,0E+05 (de 12 casos) En los cuatro casos que reportan es <1
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	Riego agrícola: 8; cuerpo de agua y riego: 4; cuerpo de agua: 7
	Propuesta para el tratamiento	Instalación de planta: 5; ampliación de planta: 7; modificación de tecnología: 1; mejora de eficiencia: 5	

El rango de coberturas de agua potable fluctúa entre 51 (Cochabamba) y 100% (Santiago), con un promedio de 86% (de 16 casos); la cobertura de alcantarillado tiene un rango más amplio: entre 25,9% en Liberia a 98% en Santiago (en promedio, la cobertura es 65,5% en los mismos

16 casos). En cuanto al tratamiento, se reporta una cobertura mínima de 2,2% en Villa El Salvador y máxima de 90% en La Vega (República Dominicana). El promedio de los diez casos que reportan cobertura de tratamiento es 36,1%.

Se reporta un rango de caudal generado de aguas residuales entre 2 L/s en Jinotepe y 28.000 L/s en Texcoco; el promedio de los 18 casos es 4.946 L/s. Al evaluar el caudal tratado de aguas residuales, el número de casos se reduce a 15, y el rango fluctúa entre 2 L/s en Jinotepe a 5.000 en Portoviejo (Ecuador), con un promedio de 1.275,9. En estos casos de estudio, el porcentaje de aguas residuales generadas que recibe algún nivel de tratamiento es de 25,8%, cifra superior al promedio regional de sólo 14% estimado para 1998.

Con respecto a tecnología de tratamiento, la más frecuente es de lagunas de estabilización (seis de 15 casos). Los lodos activados, sistemas mixtos (tratamiento mecanizado y biológico) y otros sistemas se reportan en igual número en los demás casos. El área de tratamiento puede ser tan pequeña como 0,1 ha en Antofagasta (planta de lodos activados donde se trata un caudal de 120 L/s) y llegar a 280 ha en Mendoza (lagunas de estabilización donde se trata 1.700 L/s). El área promedio destinada a tratamiento en los 12 casos reportados es 48,8 ha.

La calidad sanitaria es medida por el nivel de colimetría fecal y el número de huevos de nemátodos reportado en el efluente de las plantas. Las aguas de mejor calidad sanitaria se reportan en Fortaleza (tanto en colimetría como en parásitos), mientras que los más altos niveles de colimetría ($2,4E+06$) se reportan en Liberia¹. Sólo cuatro casos reportaron control de huevos de parásitos y en todos ellos por debajo del nivel recomendado de <1 huevo/L. La disposición final de las aguas residuales se realiza en campos agrícolas (en ocho de 17 casos), en cuerpos de agua y área agrícola (en cuatro casos) y sólo en cuerpos de agua (en siete casos).

6.1.4 Uso de las aguas residuales domésticas

Esta categoría incluye información acerca del caudal de aguas residuales domésticas usadas para riego, de la demanda de agua residual para riego (por agua y por nutrientes), los cultivos irrigados, la experiencia en el manejo de estas aguas, las áreas regadas, los principales mercados de consumo y las propuestas para mejorar el reuso (Cuadro 7).

En 15 casos se reporta el uso de aguas residuales en riego; el rango de caudal fluctúa entre 2 L/s en Jinotepe y 13.400 L/s en Santiago (caudal que es diluido en agua de río antes de su uso en riego); el promedio es 2.370 L/s. Ocho de estos casos reportan déficit de agua para riego (considerando todas las fuentes de agua), mientras que en cuatro de ellos no hay restricción de agua para la actividad agrícola.

Entre los tipos de cultivos predominantes destacan los cereales (en seis casos), seguidos de las hortalizas (cinco casos) y los cultivos industriales (dos casos). En Cochabamba, Juárez, Tacna, Villa El Salvador, Fortaleza, Portoviejo, San Agustín, Ibagué y Sololá se cultiva una sola categoría de cultivos (categoría definida en función a la calidad sanitaria del agua residual),

¹ Es importante señalar que en este caso en particular se detectó errores de procedimiento en la determinación de colimetría, que arrojaban niveles muy elevados (hasta $1,0E+16$). A raíz de ello, CEPIS desarrolló una misión de cooperación técnica, en la que se detectó y subsanó estos errores.

mientras que en Mendoza, Antofagasta, Texcoco, La Vega, y Santiago se riega varias categorías (que requerirían diferente calidad de agua residual) con la misma fuente de agua residual.

Cuadro 7. Uso de las aguas residuales domésticas

Aspectos generales	Aspectos específicos	Análisis global
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Mínimo: 2 (Jinotepe); máximo: 13.400 (Santiago); promedio: 2.370
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Déficit de agua para riego: 8; no hay restricción de agua: 4
	Cultivos irrigados	Hortalizas: 5; cereales: 6; forrajes: 1; industriales: 2. Diversas categorías de cultivos: 5; una sola categoría: 9
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Amplia: 9; media: 1; escasa o ninguna: 3
	Área regada con aguas residuales (ha)	Mínima: 5; máxima: 60.000; promedio: 8.914
	Principales mercados de consumo	Local: 10; local y exportación: 4
	Propuesta de reuso	Incorporar reuso: 8; incorporar cultivos: 3; mejorar técnicas de riego: 5; sin cambios: 2

Con respecto a la experiencia en manejo de aguas residuales, en nueve casos se reporta amplia experiencia, en uno experiencia de nivel medio y en tres escasa o ninguna experiencia importante. La extensión del área agrícola fluctúa entre cinco hectáreas en Sololá y 60.000 hectáreas en Santiago, siendo la media 8.914 ha. En 10 de los casos el principal mercado es local, mientras que en Juárez, Tacna, La Vega y Santiago, los productos son comercializados también en mercados de exportación.

Entre las propuestas de reuso se reporta que ocho casos consideran incorporar el reuso como una opción (aquellos casos en los que no existe reuso actualmente); en Mendoza, Texcoco y Tacna se considera la incorporación de nuevos cultivos, mientras que en Cochabamba, Antofagasta, Juárez, Villa El Salvador y La Vega se contempla mejorar los sistemas de riego, y en Santiago y San Agustín no se considera mejoras de ningún tipo en el tema agrícola.

6.1.5 Impactos ambientales y marco legal

En esta categoría se incluyen los impactos a la salud humana, los impactos a los ambientes de descarga, y los aspectos normativos del tratamiento de las aguas residuales, su uso en riego agrícola y del consumo de los productos irrigados con estas aguas (Cuadro 8).

Nueve casos reportan la existencia de impactos a la salud, en su mayoría entre los agricultores, lo cual es una consecuencia esperada de la calidad sanitaria del agua de riego y el tipo de cultivo irrigado; en Mendoza y Fortaleza se menciona que se controlan los riesgos asociados a la presencia de patógenos en el agua, y en seis casos no se reporta o no hay información disponible. Con respecto a impactos en los ambientes de descarga de aguas residuales, sólo en

Mendoza no existe descarga, ya que se aprovecha toda el agua residual. En 10 casos existe disposición de aguas residuales (tratadas o sin tratamiento) a cuerpos de agua, mayormente ríos. En otros cinco casos el mayor impacto se da en el suelo y la napa. Por último, en Antofagasta se descarga en el mar y Tacna reporta problemas de malos olores y plagas.

Cuadro 8. Impactos ambientales y marco legal

Aspectos generales	Aspectos específicos	Análisis global
Impactos ambientales	En la salud humana	Reportan impactos: 9; controlan impactos: 2; no reportan: 6
	En los ambientes de descarga	No descargan: 1; impactos en cuerpos de agua: 10; en napa y suelo: 5; otros: 2
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Existen normas específicas: 15; no existen: 3
	Normas legales para el uso de aguas residuales	Existen normas específicas: 9; no existen: 8
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	Existen normas específicas: 1 (Santiago)

Los aspectos legales denotan mayor uniformidad con respecto a la regulación del tratamiento; en 15 casos se refiere que existen normas legales para el tratamiento de las aguas residuales, si bien la mayoría enfoca la remoción de materia orgánica y nutrientes, y no considera o minimiza el tema de patógenos. En La Vega, Liberia y Luque no existen normas para el tratamiento. Con respecto al uso de aguas residuales para riego, en Mendoza, Antofagasta y Santiago, Tacna, San Agustín y Villa El Salvador, La Vega, Fortaleza y Maracaibo se refiere la existencia de normas que regulan el uso de estas aguas. Sólo en Santiago se prohíbe el consumo de hortalizas crudas como medida de protección al consumidor.

6.1.6 Aspectos sociales

Esta categoría comprende los aspectos sociales e institucionales tales como el nombre y tipo de empresa prestadora de servicios de agua y saneamiento, año de inicio de operaciones de la planta de tratamiento y población atendida), tipo y tamaño de organización, régimen de tenencia de la tierra de los agricultores que usan agua residual para riego, la participación de otros actores relevantes en el manejo de las aguas residuales y el tipo de relaciones (acuerdos, conflictos o sin coordinación) entre los principales actores (Cuadro 9).

En 14 casos las empresas prestadoras de servicios de agua y saneamiento son públicas; en Mendoza, Antofagasta y Santiago son empresas privadas. La planta de tratamiento de Portoviejo es la de mayor antigüedad (aún operativa), y existen varias más modernas en Juárez, Villa El Salvador y Liberia, que datan de 2000. La población atendida por estas instalaciones fluctúa entre 3.500 habitantes en Fortaleza, hasta 4'960.000 en Santiago; la media es 856.628 habitantes

Con respecto a la organización de agricultores, en nueve casos se trata de asociaciones (cooperativas o asociaciones de riego), mientras que en otros seis se presentan tanto agricultores asociados como individuales. En Mendoza, Liberia y Fortaleza se trata de una sola empresa o terrateniente.

Cuadro 9. Aspectos sociales

Aspectos generales	Aspectos específicos		Análisis global
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Pública/municipal: 14; privada: 3
		Año de inicio de operaciones de la planta	Más antigua: 1963 (Portoviejo); más moderna: 2000 (Juárez, Villa El Salvador y Liberia)
		Población atendida	Mínima: 3.500 (Fortaleza); máxima: 4.960.000 (Santiago); promedio: 856.628
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones: 9; asociaciones e individuos: 6; propiedad única: 3
		Tenencia de la tierra	Privada: 3; privada individual: 2; privada individual y colectiva: 11; colectiva: 1
	Otros actores relevantes		Reguladores del riego: 5; municipalidades: 8; universidades: 2; oficinas ambientales: 6; instancias multisectoriales: 4 (Tacna, Maracaibo e Ibagué); oficinas de salud: 3; regulador del saneamiento: 2 (San Agustín y Luque)
	Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores		Acuerdos: 2 (Mendoza y Cochabamba); conflictos: 1 (Tacna); disposición a negociar: 2; sin coordinación: 12; no hay apoyo de instituciones: 1 (Fortaleza)

En todos los casos se refiere la participación de otros actores, entre los que destacan las dependencias ambientales (en seis casos) y las reguladoras del riego (cinco casos). Sin embargo, son más los casos en los que estos actores no coordinan entre sí los aspectos del manejo de las aguas residuales (en 12 casos). Sólo en Mendoza y Cochabamba existen acuerdos en curso. La disposición a negociar se reporta en dos casos, mientras que en Fortaleza se menciona que las autoridades no apoyarían una propuesta de sistema integrado.

6.1.7 Aspectos económicos

La última categoría de aspectos de la tipología comprende algunos aspectos económicos tales como la tarifa de saneamiento (servicios que cubre esta tarifa, y valor de la tarifa), el costo del tratamiento y el costo del agua para riego (Cuadro 10).

No todas las empresas prestan la totalidad de servicios; en 12 de los casos estos servicios incluyen el abastecimiento de agua potable y el saneamiento (recolección y tratamiento) de las aguas residuales domésticas. En Juárez, Texcoco, San Agustín e Ibagué la empresa provee agua potable y recolecta las aguas residuales, y en Antofagasta los servicios son atendidos por dos empresas, una de ellas a cargo del saneamiento de las aguas residuales de la ciudad.

Cuadro 10. Aspectos económicos

Aspectos generales	Aspectos específicos		Análisis global
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Agua y saneamiento: 12; agua y alcantarillado: 4; saneamiento: 1
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	Cobran saneamiento: 8; mínimo: 0,05 (Mendoza), máximo: 0,50 (Villa El Salvador); promedio: 0,26
	Costo del tratamiento (\$/m ³)	Diez casos. Mínimo: 0,01 (Mendoza, Cochabamba, Tacna, La Vega y Fortaleza); máxima: 0,99 (Tacna)	
	Costo del agua para riego (\$/m ³)	Cinco casos: Antofagasta (1,33); La Vega (0,01); Maracaibo (0,02); San Agustín (\$53,4/ha/año) e Ibagué (0,86)	

En Mendoza, Cochabamba, Antofagasta, Juárez, Tacna, Villa El Salvador, Santiago y San Agustín (en este caso, a pesar que no se presta el servicio de tratamiento) se cobra el servicio de saneamiento; la tarifa fluctúa entre \$0,05/m³ en Mendoza y \$0,50/m³ en Villa El Salvador. Diez casos reportan costo de tratamiento, el cual fluctúa entre \$0,01/m³ en Mendoza, Cochabamba, Tacna, La Vega y Fortaleza, hasta \$0,99/m³ en Tacna; el costo promedio es \$0,22/m³. Finalmente, cinco casos reportan tarifa de agua para riego: Antofagasta (\$1,33/m³); La Vega (\$0,01/m³); Maracaibo (\$0,02/m³); San Agustín (\$53,4/ha/año) e Ibagué (\$0,86/m³).

6.1.8 Evaluación global

Como resultado de esta evaluación global, se puede afirmar que los casos de estudio abarcan una amplia diversidad de contextos de ubicación geográfica (predominando los valles ribereños), clima (en su mayoría tropical húmedo), tamaño de población (mayormente intermedias) y actividades económicas (predominando la industria y la agricultura), siendo por tanto representativos del universo de poblaciones urbanas de la Región.

La principal fuente de agua es superficial, dadas sus características de valles ribereños. Los terrenos tienen mayormente aptitud para cultivos temporales, predominando los cereales. El promedio de coberturas es: agua potable, 86%; alcantarillado, 66%; tratamiento, 36%. El caudal generado promedio de aguas residuales es 4.946 L/s, de los cuales se trata 1.276 L/s (25,8%, cifra cercana a estadísticas de otras fuentes).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales más utilizados son las lagunas de estabilización, seguidos de lodos activados y sistemas mixtos (mecanizados y biológicos). En general, estos sistemas no logran la calidad sanitaria recomendada por la OMS para riego irrestricto, a pesar que en la mayoría de los casos se riega hortalizas. Predomina el riego de una sola categoría de cultivos, y también se riega varias categorías de cultivos con la misma calidad de agua residual. Los productos cultivados en estas áreas se comercializan mayormente en mercados locales; en algunos casos los cultivos están asociados a productos de exportación.

En su mayoría, se reporta incidencia de enfermedades infecciosas asociadas al manejo de aguas residuales, así como impactos negativos en los ambientes de descarga. La legislación de la mayoría de los 14 países donde se desarrollaron los casos de estudio considera normas legales para el tratamiento y uso de las aguas residuales, aunque orientadas a la protección ambiental. Sólo en un caso se reporta la prohibición de consumo de hortalizas crudas como medida de prevención contra la parasitosis y el cólera. Sin embargo, en un número importante de países no existe aún legislación que incorpore la remoción de los patógenos presentes en las aguas residuales de sus ciudades.

La mayoría de empresas prestadoras de servicios de agua y saneamiento son públicas (mayormente municipales), que atienden poblaciones de casi un millón de habitantes, en promedio. Por su parte, los usuarios de las aguas residuales son en su mayoría asociaciones de regantes o mixtos (propiedad colectiva e individual); todos son privados.

En todos los países existe al menos una tercera entidad (además de la empresa de agua y los agricultores) involucrada en el manejo de las aguas residuales. Sin embargo, la falta o poca disposición a negociar acuerdos o coordinar acciones es el escenario más frecuente; sólo en dos casos existe una relación formal y cooperativa entre la empresa de agua y los agricultores. En su mayoría, las empresas de agua prestan servicios de agua y saneamiento y tiene conocimiento de los costos asociados, aunque sólo la mitad cobra los servicios de saneamiento. En cuanto al cobro de agua residual para riego, sólo en algunas locaciones se cuenta con una tarifa y un contexto legal definido para aplicarla al agricultor.

6.2 Análisis entre casos de la misma situación de manejo

La evaluación se realizó entre los casos de estudio en la misma situación de manejo de las aguas residuales y por categoría de aspectos (ocho categorías en total), así como algunas relaciones entre estas categorías. El propósito fue identificar elementos comunes o diferenciados en función a las condiciones de cada situación de manejo.

6.2.1 Casos con tratamiento y uso de aguas residuales domésticas (CT-CR)

El contexto general de estos ocho casos (Mendoza, Cochabamba, Antofagasta, Juárez, Texcoco, Tacna, Villa El Salvador y La Vega) se resume en el Cuadro 11. La mayoría se localizan en valles, predominando las ciudades intermedias, con mayor porcentaje de población urbana (84,6%) que el promedio global (77,3%). La principal actividad económica es la industria (3 casos), seguida de la agricultura y el comercio en igual número (dos casos).

La mayoría de casos tiene clima templado (seis casos) y árido (tres casos), lo que se explica por el promedio de temperatura (19° C) y precipitación (410 mm); en consecuencia, la principal fuente de agua para riego es superficial (en siete casos), mientras que en Villa El Salvador (con menos de 20 mm), la única fuente de agua para riego es residual. La mayor capacidad de uso de suelos es para cultivos temporales (cinco casos), y los principales cultivos son los cereales (cinco casos), seguido de forrajes, cultivos industriales y frutales; en ningún caso las hortalizas son el cultivo principal (Cuadro 12).

Cuadro 11. Contexto general (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	
Contexto general	Descripción geográfica	Valles: 5; desiertos: 2; lago artificial: 1	
	Población (número de habitantes)	Urbana	Pequeñas: 1; intermedias: 4; grandes: 2
		Rural	3 casos no reportan población rural; el promedio de población urbana es 84,6%
	Localización	Altitud (m)	Mínima: 50 (Antofagasta); máxima: 2.560 (Juárez)
		Latitud (°)	Entre 31°44 N (Juárez) y 32°53´ S (Mendoza)
	Principales actividades económicas		Agricultura: 2; minería: 1; industria: 3; comercio: 2

Cuadro 12. Recursos de agua y suelo (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Tropical húmedo: 1; subtropical árido: 1; templado húmedo: 1; templado semi-árido: 2; templado árido: 3
		Precipitación (mm)	Mínima: menos de 5 (Antofagasta); máxima: 1.600 (La Vega); promedio: 410.
		Temperatura (°C)	Mínima: -6 (Juárez); máxima: 41 (Juárez); promedio: 19,0
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial: 7; residual: 1
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales: 5; cultivos perennes: 3
	Principales cultivos		Cereales: 5; forrajes: 1; industriales: 1; frutales: 1

La cobertura promedio de agua potable es 84% (similar al global), la cobertura de alcantarillado 79%, y de tratamiento 45%, ambas superiores al promedio global (Cuadro 13).

El caudal promedio de aguas residuales generado bordea los 5.000 L/s, de los cuales se trata en promedio sólo 936 L/s (18,7% en contraste con 25,8% del promedio global). Estas cifras confirman las tendencias reportadas en el Inventario Regional, donde se señala que a medida que el tamaño de la ciudad aumenta, la cobertura de tratamiento decae por un tema de prioridad política y de presupuesto.

Cuadro 13. Agua y saneamiento (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-CR
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Mínima: 51% (Cochabamba); máxima: 99% (Antofagasta); promedio: 84%
		Alcantarillado (%)	Mínima: 37,3% (Mendoza); máxima: 94,0% (Antofagasta); promedio: 79,0
		Tratamiento (%)	Mínima: 2,2% (Villa El Salvador); máxima: 90% (La Vega); promedio: 45,1% (de 6 casos)
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Mínimo: 370 (Tacna); máximo: 28.000 (Texcoco); promedio: 4.880
		Caudal tratado (l/s)	Mínimo: 120 (Antofagasta); máximo: 2.500 (Juárez); promedio: 936,8
		Tecnología de tratamiento	Lagunas facultativas/de estabilización: 2; lodos activado/lagunas aereadas: 3; mixtos: 3
		Área de tratamiento (ha)	Mínima: 0,1 (Antofagasta); máxima: 280 (Mendoza); promedio: 60,6
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Mínima: 1.0E+02 (Antofagasta); máxima: 2,1E+06 (Cochabamba); promedio: 2.8E+05 En los dos casos que reportan es <1
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	Riego agrícola: 7; cuerpo de agua y riego: 1
	Propuesta para el tratamiento	Ampliación de planta: 5; modificación de tecnología: 1; mejora de eficiencia: 2	

Los sistemas mecanizados o mixtos (mecanizados y biológicos) de tratamiento predominan sobre las lagunas de estabilización (seis y dos casos respectivamente); sin embargo, la calidad sanitaria de la planta de Mendoza (lagunas de estabilización) supera a las demás, alcanzando los niveles recomendados para el riego restringido (reporta 2,5E+03 y <1 huevo de nemátodo/L). La planta de Antofagasta reporta menor colimetría fecal, pero no reporta concentración de parásitos. La disposición final de estos efluentes se realiza mayormente en áreas agrícolas (en siete casos), mientras que en Antofagasta se dispone al mar a través de un emisario y una parte se destina a riego.

Entre las propuestas para mejorar el tratamiento de las aguas residuales destaca la ampliación de la planta (en cinco casos), la mejora en la eficiencia de la planta en dos casos y la modificación de tecnología en Cochabamba.

El caudal promedio utilizado en riego agrícola es 2.262,5 L/s, destacando Texcoco con 10.000 L/s. Con excepción de La Vega (sin información), en todos los casos se reporta déficit de agua para riego, consecuencia del conflicto entre la ciudad y la agricultura por las fuentes de agua. Los cereales destacan entre los principales cultivos (en cuatro casos), seguido de los cultivos industriales (en dos casos) y hortalizas y forrajes (un caso cada uno). Predomina el riego de varias categorías de cultivos sobre el de una (cinco y tres respectivamente), lo que indica desconocimiento de los criterios sanitarios para el riego de cultivos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Reuso agrícola (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Mínimo: 180 (Antofagasta); máximo: 10.000 (Texcoco); promedio: 2.262,5
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Déficit de agua para riego: 7; La Vega s.i.
	Cultivos irrigados	Hortalizas: 1; cereales: 4; forrajes: 1; industriales: 2. Diversas categorías de cultivos: 3; una sola categoría: 5
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Amplia: 7; media: 1
	Área regada con aguas residuales (ha)	Mínima: 550 (La Vega); máxima: 26.000 (Juárez); promedio: 6.082
	Principales mercados de consumo	Local: 5; local y exportación: 3
	Propuesta de reuso	Incorporar cultivos: 3; mejorar técnicas de riego/manejo agrícola: 5

En siete casos se reporta amplia experiencia en el manejo de aguas residuales para riego, señalándose un área promedio de 6.082 ha; los principales mercados son de locales (cinco casos), aunque también atienden mercado de exportación (tres de los cuatro casos en el global pertenecen a esta situación). Las mejoras en las técnicas de riego y manejo agrícola destacan sobre las propuestas de incorporar cultivos (cinco y tres respectivamente), lo que es consistente con la mayor experiencia en el uso de aguas residuales en este grupo de casos.

Los impactos a la salud (incidencia de enfermedades infecciosas en agricultores o consumidores) son reportados en cinco casos; dos casos (Mendoza y Antofagasta) mencionan que controlan estos impactos y La Vega no reporta este aspecto (Cuadro 15). Los impactos en los ambientes de descarga más frecuentes son en cuerpos de agua, napa y suelo (tres casos en cada uno); en Mendoza no se reporta descarga (aunque no refiere impactos en el suelo o la napa), mientras que en Tacna los mayores impactos son los malos olores y las plagas (mosquitos).

En siete casos existen normas específicas para el tratamiento de las aguas residuales, aunque en todos ellos el enfoque es de remoción de materia orgánica y nutrientes. En La Vega no existen estas normas. En cinco casos también hay normas para el uso de estas aguas en riego agrícola, mientras que ningún caso reportó la existencia de normas para el consumo de los productos regados con estas aguas.

La mayoría de empresas de agua y saneamiento son municipales o públicas; sólo en Mendoza y Antofagasta son privadas. La planta de mayor antigüedad opera en La Vega (1973) y existen dos casos (Juárez y Villa El Salvador) que reportan plantas relativamente nuevas (2000). El rango de tamaño de población atendida fluctúa entre 22.000 (Antofagasta) y 3.000.000 (Villa El Salvador), con un promedio de 867.300, similar al global (Cuadro 16).

Cuadro 15. Impactos ambientales y marco legal (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR
Impactos ambientales	En la salud humana	Reportan impactos: 5; controlan impactos: 2; no reportan: 1
	En los ambientes de descarga	No descargan: 1; impactos en cuerpos de agua: 3; en napa y suelo: 3; otros: 1
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Existen normas específicas: 7; no existen: 1
	Normas legales para el uso de aguas residuales	Existen normas específicas: 5; no existen: 3
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	Ningún caso

Cuadro 16. Aspectos sociales (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Pública/municipal: 6; privada: 2
		Año de inicio de operaciones de la planta	Más antigua: 1973 (La Vega); más moderna: 2000 (Juárez y Villa El Salvador)
		Población atendida	Mínima: 22.000 (Antofagasta); máxima: 3.000.000 (Villa El Salvador); promedio: 867.300
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones: 2; asociaciones e individuos: 5; propiedad única: 1
		Tenencia de la tierra	Privada: 3; privada individual y colectiva: 5
	Otros actores relevantes	Reguladores del riego: 4; municipalidades: 4; universidades: 1; oficinas ambientales: 2; instancias multisectoriales: 1; oficinas de salud: 1; oficinas agrarias: 1	
	Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores	Acuerdos: 2 (Mendoza y Cochabamba); conflictos: 1 (Tacna); disposición a negociar: 1; sin coordinación: 4	

Con respecto a la organización agrícola, la mayoría es privada mixta (asociaciones y propiedades individuales); sólo en Mendoza se trata de un solo propietario. En todos los casos tiene presencia al menos otro actor de importancia, en su mayor parte reguladores del riego y municipalidades. Sólo en Tacna se reporta la existencia de una instancia multisectorial involucrada en las decisiones acerca del manejo de las aguas residuales, y es precisamente el único caso que reporta conflictos entre las partes interesadas por la distribución del agua, atribuida a la escasez de agua en la cuenca.

En su mayor parte, los actores involucrados no coordinan; sólo en Mendoza y Cochabamba existen acuerdos formales entre las partes que ofrecen un mecanismo efectivo de negociación, aunque sólo en Mendoza se aplica con relativa eficacia, mientras que en Cochabamba el proceso de negociación atraviesa por etapas de tensión debido a la falta de definición de una política clara por parte de la empresa de agua y saneamiento para armonizar las necesidades y capacidad de pago de los usuarios.

En todos los casos existe tarifa por servicios de agua y saneamiento, si bien en Juárez y Texcoco ésta incluye sólo agua y alcantarillado y en Antofagasta sólo saneamiento (la provisión de agua potable está a cargo de otra empresa, también privada). En seis casos se cobra el servicio de saneamiento, y las tarifas fluctúan entre \$0,05/m³ en Mendoza) y \$0,50/m³ en Villa El Salvador, con un promedio \$0,25/m³ (similar al promedio global). Sólo en Antofagasta y La Vega existen tarifas por el agua residual para riego, de \$1,33/m³ y \$0,01/m³ respectivamente.

Cuadro 17. Aspectos económicos (casos CT-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-CR
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Agua y saneamiento: 5; agua y alcantarillado: 2; saneamiento: 1
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	Cobran saneamiento: 6; mínimo: 0,05 (Mendoza), máximo: 0,50 (Villa El Salvador); promedio: 0,25
	Costo del tratamiento (\$/m ³)	Mínimo: 0,01 (Mendoza, Cochabamba, Tacna, La Vega y Fortaleza); máxima: 0,99 (Tacna); promedio: 0,23	
	Costo del agua para riego (\$/m ³)	Cinco casos: Antofagasta (1,33); La Vega (0,01); Maracaibo (0,02); San Agustín (\$53,4/ha/año) e Ibagué (0,86)	

En algunos casos como Mendoza y Cochabamba (los mismos que tienen acuerdos suscritos entre las empresas de agua y saneamiento y los agricultores), y Juárez, no se cobra el uso de las aguas residuales a los agricultores, debiendo la ciudad asumir la totalidad del costo del tratamiento de estas aguas (Cuadro 17).

6.2.2 Casos con tratamiento y sin uso de aguas residuales domésticas (CT-SR)

Este grupo de casos (Fortaleza, Liberia, Portoviejo y Maracaibo) es uno de los más heterogéneos en su contexto general (Cuadro 18). La mayoría se localizan en valles, y están representadas las cuatro categorías de ciudades por tamaño de población, si bien el porcentaje de población urbana es aún mayor al del anterior grupo (85,7% en comparación a 84,6 del grupo CT-CR y 77,3% del global). Cada ciudad tiene una actividad económica principal: agricultura, minería, industria y el comercio.

Todos los casos tienen clima tropical (temperatura media de 26,2° C) pero se distribuye entre húmedo (dos casos), semiárido y árido, lo que se explica por el promedio de precipitación

(1.230 mm); en consecuencia, las principales fuentes de agua para riego son la lluvia y superficial (dos en cada caso), como se muestra en el Cuadro 19. La mayor capacidad de uso de suelos es para cultivos temporales (tres casos), y los principales cultivos son los cereales (dos casos), seguido de hortalizas y frutales.

Cuadro 18. Contexto general (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-SR	
Contexto general	Descripción geográfica	Valles: 3; suburbio urbano: 1	
	Población (número de habitantes)	Urbana	Muy pequeñas: 1; pequeñas: 1; intermedias: 1; grandes: 1
		Rural	2 casos no reportan población rural; la población urbana en Portoviejo es 69,6% y en Maracaibo 85,7%
	Localización	Altitud (m)	Mínima: 45 (Portoviejo); máxima: 150 (Fortaleza)
		Latitud (°)	Entre 10°38 N (Liberia y Maracaibo) y 1°03´ S (Portoviejo)
Principales actividades económicas		Agricultura: 1; minería: 1; industria: 1; comercio: 1	

Cuadro 19. Recursos de agua y suelo (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-SR	
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Tropical húmedo: 2; tropical semiárido: 1; tropical árido: 1
		Precipitación (mm)	Mínima: 490 (Portoviejo); máxima: 1.640 (Liberia); promedio: 1.230
		Temperatura (°C)	Mínima: 17 (Portoviejo); máxima: 37 (Maracaibo); promedio: 26,2
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial: 2; pluvial: 2
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales: 3; cultivos perennes: 1
	Principales cultivos		Hortalizas: 1; cereales: 2; frutales: 1

Los aspectos de agua y saneamiento (Cuadro 20) indican que la cobertura promedio de agua potable es 85% (similar al global), la cobertura de alcantarillado 52%, y la de tratamiento 23%, ambas inferiores al promedio global.

El caudal promedio de aguas residuales generado supera los 8.000 L/s, de los cuales se trata en promedio 2.107 L/s (25,9% muy similar al promedio global). Dadas las diferencias en el tamaño de estas ciudades, no es posible hacer inferencias con respecto a las tendencias del Inventario Regional.

Cuadro 20. Agua y saneamiento (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-SR
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Mínima: 79% (Fortaleza); máxima: 97% (Liberia); promedio: 85%
		Alcantarillado (%)	Mínima: 26% (Liberia); máxima: 85% (Portoviejo); promedio: 52%
		Tratamiento (%)	Mínima: 11% (Fortaleza); máxima: 32% (Liberia); promedio: 23%
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 20.000 (Portoviejo); promedio: 8.132
		Caudal tratado (l/s)	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 5.000 (Portoviejo); promedio: 2.107
		Tecnología de tratamiento	Lagunas facultativas/de estabilización: 4
		Área de tratamiento (ha)	Mínima: 0,5 (Fortaleza); máxima: 70 (Maracaibo); promedio: 25
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Mínima: 5,1E+01 (Fortaleza); máxima: 2,4E+06 (Liberia); promedio: 6,4E+05 En los dos casos que reportan es <1
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	Riego agrícola: 1; cuerpo de agua y riego: 1; cuerpo de agua: 2
		Propuesta para el tratamiento	Ampliación de planta: 2; mejora de eficiencia: 2

En todos los casos los sistemas de tratamiento son lagunas de estabilización, cuya eficiencia de remoción de patógenos alcanza en promedio 6,4E+05 de colimetría fecal (hay que tener en cuenta que en este grupo se encuentra Liberia, donde se detectó un problema en la metodología de medición de este parámetro) y <1 huevo de nemátodo/L. En Fortaleza el efluente se usa para riego (6 L/s), mientras que en Liberia y Maracaibo se disponen las aguas tratadas en cuerpos de agua y en Portoviejo se descarga al río y sólo se usa una fracción en riego (52 L/s). Entre las propuestas para mejorar el tratamiento de las aguas residuales, dos refieren una ampliación de la planta y otras dos la mejora en la eficiencia de la planta.

Se reporta déficit de agua para uso agrícola en tres casos (en Portoviejo no hay información). Tanto en Fortaleza como en Portoviejo se riega principalmente hortalizas y cereales, con mayor antigüedad en el caso de Fortaleza, donde el área de cultivo es 12 ha; en Portoviejo el área es 80 ha. Los productos son comercializados localmente. En tres de los cuatro casos la propuesta de reuso consiste en incorporar área de riego a los sistemas de tratamiento ya existentes; en Portoviejo se propone incorporar cultivos de mayor valor (Cuadro 21).

No se reporta incidencia de enfermedades asociadas a las aguas residuales en tres casos, mientras que en Portoviejo sí se reportan. Los mayores impactos están asociados a la contaminación generada en cuerpos de agua (ríos y lago) y el deterioro de la calidad de los suelos en los casos donde existe una actividad incipiente de reuso (Cuadro 22). En tres casos existen normas específicas para el tratamiento y uso de las aguas residuales, enfocadas a la

remoción de materia orgánica y nutrientes para disposición en el ambiente. En Liberia sólo existen normas para la descarga de aguas residuales al ambiente. En ningún caso se reporta que exista normatividad para el consumo de los productos regados con estas aguas.

Cuadro 21. Reuso agrícola (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-SR
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 52 (Portoviejo)
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Déficit de agua para riego en tres; Portoviejo s.i.
	Cultivos irrigados	Hortalizas: 1; cereales y hortalizas: 1. Diversas categorías de cultivos: 1; una sola categoría: 1
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Amplia: 1; media: 1; ninguna: 2
	Área regada con aguas residuales (ha)	Mínima: 12 (Fortaleza); máxima: 80 (Portoviejo)
	Principales mercados de consumo	Local
	Propuesta de reuso	Incorporar cultivos y área de riego: 3; mejorar técnicas de riego/manejo agrícola: 1

Cuadro 22. Impactos ambientales y marco legal (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-SR
Impactos ambientales	En la salud humana	Reportan impactos: 1; no reportan: 3
	En los ambientes de descarga	Impactos en cuerpos de agua: 3; en napa y suelo: 1
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Existen normas específicas: 3; no existen: 1
	Normas legales para el uso de aguas residuales	Existen normas específicas: 3; no existen: 1
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	Ningún caso

En todos los casos la empresa de agua y saneamiento es municipal. La planta más antigua en operación es la de Portoviejo (1963) y la más reciente la de Liberia (2000). El rango de tamaño de población atendida fluctúa entre 3.500 en Fortaleza y 650.000 en Maracaibo, con un promedio de 215.125 (Cuadro 23).

Con respecto al nivel de organización de los agricultores, en tres casos se trata de asociaciones, mientras que en Liberia se reporta un solo terrateniente involucrado en el caso; en todos los casos se trata de propiedades privadas, sean individuales como en Liberia y Portoviejo o asociativas como en Fortaleza y Maracaibo.

Entre las instituciones locales relacionadas al manejo de las aguas residuales destacan las municipalidades, contándose también universidades, oficinas ambientales e instancias multisectoriales como en Maracaibo. Cabe destacar que en este grupo se encuentra también una alta heterogeneidad con respecto a las relaciones entre estas instituciones; mientras que en Fortaleza las instituciones públicas se oponen al reuso, en Liberia no existen aún condiciones para iniciar las coordinaciones necesarias, en Portoviejo no existe institucionalidad fuerte y en Maracaibo las instituciones tienen roles definidos y han manifestado buena disposición para negociar una agenda compartida.

Cuadro 23. Aspectos sociales (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-SR
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Pública/municipal: 4
		Año de inicio de operaciones de la planta	Más antigua: 1963 (Portoviejo); más moderna: 2000 (Liberia)
		Población atendida	Mínima: 3.500 (Fortaleza); máxima: 650.000 (Maracaibo); promedio: 215.125
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones: 3; propiedad única: 1
		Tenencia de la tierra	Privada: 2; privada individual y colectiva: 2
	Otros actores relevantes	Municipalidades: 2; universidades: 1; oficinas ambientales: 1; instancias multisectoriales: 1	
Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores	Disposición a negociar: 1; sin coordinación: 2; en oposición: 1		

En todos los casos la empresa de agua y saneamiento provee estos servicios, pero no existe tarifa por el saneamiento (Cuadro 24). Sólo en Fortaleza se conoce el costo de tratar las aguas residuales (\$0,01/m³) y sólo en Maracaibo se reporta costo del agua para riego (\$0,01/m³).

Cuadro 24. Aspectos económicos (casos CT-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-SR
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Agua y saneamiento: 4
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	No existen
	Costo del tratamiento (\$/m ³)	Fortaleza: 0,01	
	Costo del agua para riego (\$/m ³)	Maracaibo: 0,02	

6.2.3 Casos con uso de aguas residuales domésticas sin tratamiento (ST-CR)

Este grupo comprende sólo dos casos: Santiago y San Agustín, ya que los otros dos casos que debían completar el grupo no presentaron los estudios requeridos. Ambas localidades se localizan en valles ribereños, aunque Santiago corresponde a una población grande (con 5'800.000 habitantes), mientras que en San Agustín se reporta sólo población rural. Santiago alberga 96,4% de su población en el ámbito urbano (uno de los más altos de los 18 casos) y se encuentra a unos 1.500 metros de altitud. En San Agustín, ubicado prácticamente a nivel del mar, viven unos 3.000 pobladores. Cada ciudad tiene una actividad económica principal: industria en Santiago y agricultura en San Agustín (Cuadro 25).

Cuadro 25. Contexto general (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-CR	
Contexto general	Descripción geográfica	Valles ribereños	
	Población (número de habitantes)	Urbana	Grande; sin población urbana
		Rural	96,4%; sin población urbana
	Localización	Altitud (m)	Santiago: 1.500; San Agustín: 40
		Latitud (°)	Santiago: 33°27' S; San Agustín: 12°01' S
	Principales actividades económicas		Industria y agricultura

Cada localidad tiene un tipo de clima; es templado y semiárido en Santiago (temperatura media de 17,0° C y 320 mm de precipitación) y subtropical árido en San Agustín (temperatura media de 19,0° C y menos de 2 mm). En ambos casos la principal fuente de agua para riego es superficial, contaminada con aguas residuales crudas. En San Agustín, además, las aguas residuales son la única fuente de agua para riego durante el estiaje (Cuadro 26).

Mientras que en Santiago predominan los cultivos temporales, en San Agustín se trabaja exclusivamente con este tipo de cultivos; los frutales y hortalizas figuran como los principales cultivos en cada localidad.

Entre los aspectos de agua y saneamiento (Cuadro 27) se observa que las coberturas de agua potable y alcantarillado en Santiago son 100% y 98%, mientras que en San Agustín son sólo 20% (agua y alcantarillado). Con respecto a la cobertura de tratamiento, en Santiago se trata sólo 5,5% de las aguas residuales, mientras que en San Agustín no existe tratamiento.

Cuadro 26. Recursos agua y suelo (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-CR
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Templado semiárido; subtropical árido
		Precipitación (mm)	Santiago: 320; San Agustín: menos de 2
		Temperatura (°C)	Mínima: 4; máxima: 30 (ambas Santiago); promedio: 15,5
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial y residual (Santiago: diluida; San Agustín: cruda en estiaje)
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales
	Principales cultivos		Frutales; hortalizas

Cuadro 27. Agua y saneamiento (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-CR
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Santiago: 100%; San Agustín: 20%
		Alcantarillado (%)	Santiago: 98%; San Agustín: 20%
		Tratamiento (%)	Santiago: 5,5%; San Agustín: no hay tratamiento
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Santiago: 13.400; San Agustín: 2.600
		Caudal tratado (l/s)	Santiago: 3.200; San Agustín: no hay tratamiento
		Tecnología de tratamiento	Lodos activados; no hay tratamiento
		Área de tratamiento (ha)	Sin información
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Santiago: 1,0E+06; San Agustín: 6,5E+07 Sin información
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	Río; campo agrícola (sin tratamiento)
		Propuesta para el tratamiento	Santiago: Instalación de planta de lodos activados; San Agustín: instalación de lagunas de estabilización

En Santiago el caudal de aguas residuales generado supera los 13.400 L/s (2.600 L/s en San Agustín), de los cuales se trata 3.200 L/s en una planta de lodos activados. La calidad sanitaria del efluente es 1,0E+06 de colimetría fecal (no hay información de huevos de parásitos), el cual

es dispuesto en el río Mapocho (en San Agustín el crudo se dispone en un canal de riego agrícola). La propuesta para mejorar el tratamiento de las aguas residuales en Santiago consiste en ampliar la capacidad de la planta de lodos activados y mejorar la calidad sanitaria del efluente; en San Agustín se propone la instalación de una planta de lagunas de estabilización en los terrenos agrícolas, para remover los patógenos presentes en estas aguas y utilizarlas sin mayor riesgo en el riego de hortalizas (la colimetría del crudo es $6,5E+07$).

Se reporta déficit de agua para uso agrícola en ambos casos; en Santiago el agua residual tratada y cruda se mezcla con las aguas del río Mapocho y es captada luego por la actividad agrícola para regar unas 60.000 ha de frutales, pastos, hortalizas y cereales, que son comercializados en el mercado local y de exportación. En San Agustín se usan 2.600 L/s de crudo para el riego de 535 ha de hortalizas, que cubren un 20% de la demanda local de estos productos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Reuso agrícola (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-CR
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Santiago: 13.400; San Agustín: 2.600
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Santiago: alta; San Agustín: única fuente en estiaje
	Cultivos irrigados	Hortalizas (Santiago: además pastos y cereales)
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Santiago: poca; San Agustín: amplia
	Área regada con aguas residuales (ha)	Santiago: 60.000 (riego indirecto); San Agustín: 535 (crudas)
	Principales mercados de consumo	Santiago: local y de exportación; San Agustín: local
	Propuesta de reuso	Santiago: ninguna; San Agustín: mejorar calidad sanitaria de los productos

No hay propuesta de reuso en el caso de Santiago, mientras que en San Agustín se espera mejorar la calidad sanitaria de los productos regados, a fin de reducir o eliminar riesgos a la salud.

En ambos casos se reporta incidencia de enfermedades infecciosas (paratífus, fiebre tifoidea, hepatitis y diarreas agudas) asociadas al manejo de aguas residuales; en San Agustín se menciona además que los grupos afectados incluyen a los agricultores y consumidores (Cuadro 29). Con respecto a impactos ambientales, en Santiago se refiere la contaminación fecal y con materia orgánica del río Mapocho, mientras que en San Agustín se menciona la contaminación del suelo y malos olores en el área de reuso.

En ambos casos existen normas específicas para el tratamiento y uso de las aguas residuales enfocadas a la remoción de materia orgánica y nutrientes para disposición en el ambiente. En cuanto a regulaciones para el uso de estas aguas en riego, en Santiago existe la prohibición del

uso de crudo en riego, mientras que en San Agustín se considera las aguas residuales como parte de la oferta de agua. Santiago es el único caso que reporta la prohibición del consumo de hortalizas crudas; en San Agustín no existen normas que protejan la salud de los consumidores.

Cuadro 29. Impactos ambientales y marco legal (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-CR
Impactos ambientales	En la salud humana	Incidencia de enfermedades infecciosas en agricultores y consumidores
	En los ambientes de descarga	Santiago: contaminación fecal de aguas superficiales; San Agustín: contaminación del suelo y malos olores
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Orientadas a la remoción de materia orgánica y nutrientes
	Normas legales para el uso de aguas residuales	Santiago: restringe el uso de aguas residuales crudas en el riego; San Agustín: considera las aguas residuales parte de la oferta de agua
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	Santiago: se prohíbe el consumo de hortalizas crudas; San Agustín: no existen

Mientras en Santiago la empresa de agua y saneamiento es privada, en San Agustín es una empresa pública (Cuadro 30). La planta de Santiago data de 1993, y atiende una población de 4'960.000 habitantes.

Cuadro 30. Aspectos sociales (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-CR	
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Santiago: privada; San Agustín: pública
		Año de inicio de operaciones de la planta	Santiago: 1993
		Población atendida	Santiago: 4'900.000
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones de agricultores
		Tenencia de la tierra	Privada y asociativa
	Otros actores relevantes	Santiago: Consejo Nacional del Medio Ambiente; San Agustín: Municipalidad de El Callao, Ministerio de Salud	
	Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores	Sin coordinación	

Con respecto a la organización agrícola, en ambos casos son asociaciones privadas. Entre los actores relevantes se cuenta en Santiago con el Consejo Nacional del Medio Ambiente, y en San Agustín con la Municipalidad de El Callao y el Ministerio de Salud. En ninguno de los dos casos existe mayor coordinación entre estas instituciones para mejorar la gestión del agua residual en estas localidades.

En Santiago la empresa de agua y saneamiento provee estos servicios, y aplica una tarifa de \$0,10/m³, aunque no se dispone de información del costo del tratamiento; en San Agustín los servicios proveídos incluyen agua y alcantarillado, siendo el costo estimado del servicio de alcantarillado \$0,50/m³; tampoco se cuenta con información del costo implicado en este servicio. En Santiago no se cobra el agua para riego, mientras que en San Agustín se aplica la misma tasa que para el agua de regadío (\$53,4/ha/año, Cuadro 31).

Cuadro 31. Aspectos económicos (casos ST-CR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-CR
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Santiago: agua y saneamiento; San Agustín: agua y alcantarillado
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	Santiago: 0.10; San Agustín: 0.50
	Costo del tratamiento (\$/m ³)	Sin información	
	Costo del agua para riego (\$/m ³)	Santiago: no se aplica; San Agustín: \$53,4/ha/año	

6.2.4 Casos sin tratamiento ni uso de aguas residuales domésticas (ST-SR)

Este grupo comprende cuatro casos: Ibagué, Sololá, Jinotepe y Luque. Es el grupo con menor disponibilidad de información para la tipología, pues el tratamiento y el reuso son prácticas incipientes aún.

A excepción de Luque, de la cual no se tiene información, estas localidades se encuentran en valles andinos. Ibagué y Luque son ciudades intermedias (entre 100.000 y 1.000.000 de habitantes), mientras que Sololá y Jinotepe corresponden a ciudades pequeñas (entre 10.000 y 100.000 habitantes). La proporción de población urbana es de 67% en Sololá y 34% en Jinotepe, las dos ciudades que reportan distribución de población. La altitud fluctúa entre los 500 y 1.560 metros, en tanto que la latitud entre 14° 46' N (Sololá) y 25°15' S (Luque). La agroindustria y la agricultura son las principales actividades económicas (Cuadro 32).

Todas estas localidades tienen clima húmedo (la precipitación promedio es 1.375), pero se presentan casos con características tropicales (Ibagué y Jinotepe), subtropical (Luque) y Templado; la temperatura promedio es 23,8° C, con un rango entre 12° C en Sololá y 34° C en

Jinotepe. En todos los casos la principal fuente de agua para riego es superficial, aunque en Ibagué también se utiliza las aguas pluviales y residuales diluidas, y en Sololá las aguas subterráneas y pluviales y en Jinotepe y Luque las aguas subterráneas (Cuadro 33).

Cuadro 32. Contexto general (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-SR	
Contexto general	Descripción geográfica	Valles andinos	
	Población (número de habitantes)	Urbana	Ciudades pequeñas: Sololá y Jinotepe; intermedias: Ibagué y Luque
		Rural	Sololá: 67%; Jinotepe: 34%
	Localización	Altitud (m)	Entre 500 y 1.560 m
		Latitud (°)	Entre 14°46' N (Sololá) y 25°15' S (Luque)
Principales actividades económicas		Agroindustria y agricultura	

Cuadro 33. Recursos agua y suelo (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-SR	
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Tropical húmedo (2); subtropical húmedo (1); templado húmedo (1)
		Precipitación (mm)	Entre 400 y 2.000; promedio: 1.375
		Temperatura (°C)	Mínima: 12 (Sololá); máxima: 34 (Jinotepe); promedio: 23,8
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial (4); agua superficial y de pozo (3); residual (Ibagué)
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales (3); perennes (1)
Principales cultivos		Cereales (2); frutales (1); hortalizas (1)	

En tres localidades los cultivos principales son temporales, mientras que en Sololá son los cultivos perennes. Los cereales son los cultivos más importantes en Ibagué y Jinotepe, mientras que en Sololá lo es el café y en Luque las hortalizas.

La cobertura de agua potable fluctúa entre 93% en Jinotepe y 80% en Ibagué; el promedio es 88%. Con respecto al alcantarillado, la cobertura varía de 78% en Ibagué a 55% en Jinotepe (promedio de 69%) y el tratamiento sólo es reportado en Sololá, con una cobertura de 60% (Luque no reporta coberturas). El caudal generado de aguas residuales, captado a través del

sistema de alcantarillado, varía entre 1.380 L/s en Ibagué a 2 L/s en Jinotepe. El caudal tratado en mínimo: 12 L/s en Sololá y apenas 2 L/s en Jinotepe (Cuadro 34).

Cuadro 34. Agua y saneamiento (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-SR
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Jinotepe: 93%; Ibagué: 80%; promedio: 88%
		Alcantarillado (%)	Ibagué: 78%; Jinotepe: 55%; promedio: 69%
		Tratamiento (%)	Sololá: 60%
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Ibagué: 1.380; Jinotepe: 2; promedio: 366
		Caudal tratado (l/s)	Sololá: 12; Jinotepe: 2
		Tecnología de tratamiento	RAFA: 2; IMHOFF: 1
		Área de tratamiento (ha)	Sin información
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Sololá: 1,2E+07; Ibagué: 3.4E+05
			Sin información
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	Cuerpos de agua
	Propuesta para el tratamiento	Ibagué y Luque: instalar plantas de lagunas de estabilización; Sololá y Jinotepe: ampliar cobertura y dar prioridad a la remoción de patógenos	

Los RAFA son utilizados en Ibagué y Sololá, mientras que en Jinotepe son tanques IMHOFF; no se tiene información del área de tratamiento en ningún caso. El efluente doméstico contiene entre 1,2E+07 CF/100 ml en Ibagué y 3,4E+05 en Sololá; no se cuenta con información de huevos de parásitos. En todos los casos se dispone las aguas residuales en cuerpos de agua. En Ibagué y Luque se propone instalar lagunas de estabilización para garantizar la remoción de patógenos y usar las aguas tratadas en riego; en Sololá y Jinotepe se propone ampliar la cobertura de alcantarillado y tratamiento para remover patógenos.

Con respecto al uso de aguas residuales en riego, en Ibagué se usan la totalidad de estas aguas, diluidas en el río Chipalo, para cultivar arroz. En Sololá y Jinotepe se usan en mínima cantidad: 8 y 2 L/s respectivamente. Tanto en Ibagué como en Sololá las aguas residuales son parte de la oferta de agua para riego, aunque sólo en Sololá se usan para riego de hortalizas; en los otros dos casos no se dispone de información. Ibagué es la única localidad en la que se cuenta con amplia experiencia en el manejo de estas aguas para riego; en las demás se tiene experiencia limitada o no se cuenta con información al respecto. El área regada con aguas residuales diluidas en Ibagué alcanza las 15.500 ha, mientras que en Sololá sólo son 5. El principal mercado en Ibagué y Sololá es local (Cuadro 35).

Cuadro 35. Reuso agrícola (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-SR
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Ibagué: 1.380; Jinotepe: 2; promedio: 463
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Ibagué y Sololá: las AR se consideran parte de la oferta de agua para riego
	Cultivos irrigados	Ibagué: arroz; Sololá: hortalizas
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Ibagué: amplia experiencia; Sololá: experiencia agrícola con agua superficial
	Área regada con aguas residuales (ha)	Ibagué: 15.500 (AR diluída); Sololá: 5
	Principales mercados de consumo	Local
	Propuesta de reuso	Ibagué y Sololá: incrementar área agrícola; Jinotepe y Luque: incorporar área agrícola regada con ART

En Sololá se reporta incidencia de enfermedades infecciosas y parasitosis en agricultores y consumidores. En Ibagué, Sololá y Jinotepe se refiere de contaminación de agua superficial y subterránea con materia orgánica y fecal, así como la existencia de regulaciones para el tratamiento del agua residual, aunque enfocadas a la protección ambiental. Ningún caso reporta normas para riego con aguas residuales o la protección de los consumidores (Cuadro 36).

Cuadro 36. Impactos ambientales y marco legal (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos	ST-SR
Impactos ambientales	En la salud humana	Sololá: enfermedades infecciosas y parasitarias en diversos grupos
	En los ambientes de descarga	Contaminación fecal de aguas superficiales y subterráneas
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Orientadas a la remoción de materia orgánica y nutrientes; Luque: en proceso de definición
	Normas legales para el uso de aguas residuales	No existen
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	

Todas las empresas de agua y saneamiento son públicas; no se cuenta con información de su experiencia en el manejo de aguas residuales, aunque se refiere que en Ibagué atiende a una población de 80.000 habitantes, y en Jinotepe de 21.400. Con respecto a la organización

agrícola, en todos los casos está conformada por asociaciones de agricultores, que ostentan propiedad privada y asociativa de las tierras de cultivo (Cuadro 37).

Cuadro 37. Aspectos sociales (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-SR
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Ibagué y Sololá: municipales; Jinotepe: pública
		Año de inicio de operaciones de la planta	Sin información
		Población atendida	Ibagué: 80.000; Jinotepe: 21.400
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones de agricultores
		Tenencia de la tierra	Privada y asociativa
	Otros actores relevantes		Multisectoriales: 2; ambientales: 3; salud: 1
	Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores		Institucionalidad débil y sin coordinación; Ibagué: proceso en negociación

Un actor destacable en el caso de Ibagué es la Corporación Autónoma Regional (CAR), que constituye una instancia multisectorial de gestión; el otro caso es Sololá, que cuenta con una autoridad autónoma en la cuenca del lago Atlitán. En Jinotepe y Luque hay diversas instancias involucradas. El único caso que reporta un proceso de negociación es Ibagué; en los otros casos la institucionalidad es débil y no existe mayor coordinación.

En Ibagué la empresa provee agua y alcantarillado; en Sololá y Jinotepe provee servicios de agua y saneamiento, y en Luque no se reporta información (Cuadro 38).

Cuadro 38. Aspectos económicos (casos ST-SR)

Aspectos generales	Aspectos específicos		ST-SR
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Ibagué: agua y alcantarillado; Sololá y Jinotepe: agua y saneamiento
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	Sin información
	Costo del tratamiento (\$/m ³)		Sololá: 0.13
	Costo del agua para riego (\$/m ³)		Ibagué: 0.86

En ningún caso se reporta tarifa de tratamiento, pero en Sololá se reporta un costo de tratamiento de \$0,13/m³. Por otra parte, en Ibagué se aplica una tarifa de \$0,86/m³ para el agua de riego, y es prácticamente la única información económica proporcionada por este grupo de casos de estudio.

6.3 Análisis entre situaciones de manejo: tipología de las cuatro situaciones

Como resultado de la evaluación entre casos en la misma situación de manejo, se puede caracterizar cada situación e identificar los aspectos que las diferencian; se aborda esta caracterización por grupos de aspectos específicos.

Con respecto al contexto general y de recursos agua y tierra (Cuadro 39), se puede generalizar que las ciudades donde se realiza tratamiento y se practica el reuso (CT-CR) son poblaciones intermedias o grandes, localizadas en valles ribereños. Se desarrollan varias actividades económicas, destacando la industria, el comercio y en tercer lugar la agricultura. Se distribuyen en una diversidad de climas, predominando los semiáridos y áridos, lo que explica en parte el uso de las aguas residuales tratadas en riego, aún cuando la principal fuente de agua para la agricultura es superficial. Asociada a este déficit de agua para riego, predominan los cultivos temporales, principalmente cereales. En los casos con tratamiento sin reuso (CT-SR) no hay un predominio de tamaño de población ni de actividad económica; en general, no existe déficit de agua para riego, siendo las principales fuentes las aguas superficiales y pluviales. También predominan los cultivos temporales, entre éstos los cereales, pero también se mencionan las hortalizas. En la situación sin tratamiento con reuso (ST-CR) se trata de poblaciones grandes (o intermedias) o marginales urbanas; la actividad principal es la industria. El clima es en general árido, existiendo déficit de agua para riego, en especial en el estiaje. Predominan los cultivos temporales, en especial las hortalizas, aunque también se cultivan frutales. Los casos sin tratamiento ni reuso (ST-SR) son mayormente ciudades pequeñas o intermedias con mayor equilibrio de concentración entre la población urbana y rural. El clima es tropical o templado y húmedo; la agricultura destaca entre las actividades importantes, existiendo diversas fuentes de agua para riego, entre ellas las aguas residuales, que son diluidas en los cursos de agua antes de su uso en riego. Predominan los cultivos temporales, en especial los cereales.

Entre los aspectos de agua y saneamiento (Cuadro 40) el grupo CT-CR presenta las mayores amplitudes de cobertura de agua potable (entre 51 y 99%) y alcantarillado (entre 37 y 94%), lo que podría asociarse a que ello depende de la capacidad y decisión política en cada país de otorgar prioridad a estos servicios. Presenta asimismo mayor diversidad de tecnología de tratamiento (lagunas de estabilización, lodos activados/lagunas aireadas y sistemas mixtos), y reporta en general una calidad sanitaria de agua residual apta para riego restringido, aunque la mayoría no reporta el tema de parásitos. En este grupo es donde se presenta la mayor incidencia de uso agrícola de las aguas residuales, hecho posiblemente ligado a la alta tasa de inmigración de población rural que se asienta en las zonas periféricas, las que con frecuencia carecen de agua potable o agua para riego. Es el grupo que denota asimismo haber alcanzado (y superado) la capacidad de las plantas de tratamiento, proponiendo su ampliación o mejora de eficiencia de remoción de patógenos.

El grupo CT-SR presenta la menor cobertura de alcantarillado, lo que podría explicar en parte que no se usen las aguas residuales. En general, predominan las lagunas de estabilización, pero el efluente no alcanza la calidad sanitaria para uso irrestricto; en ese sentido es similar a la situación anterior (CT-CR). Estas aguas tratadas son mayormente dispuestas en cuerpos de agua.

Cuadro 39. Contexto general y recursos agua y tierra en las cuatro situaciones

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Contexto general	Descripción geográfica		Valles: 5; desiertos: 2; lago artificial: 1	Valles: 3; suburbio urbano: 1	Valles ribereños	Valles andinos
	Población (número de habitantes)	Urbana	Pequeñas: 1; intermedias: 4; grandes: 2	Muy pequeñas: 1; pequeñas: 1; intermedias: 1; grandes: 1	Grande; sin población urbana	Ciudades pequeñas: Sololá y Jinotepe; intermedias: Ibagué y Luque
		Rural	3 casos no reportan población rural; el promedio de población urbana es 84,6%	2 casos no reportan población rural; la población urbana en Portoviejo es 69,6% y en Maracaibo 85,7%	96,4%; sin población urbana	Sololá: 67%; Jinotepe: 34%
	Localización	Altitud (m)	Mínima: 50 (Antofagasta); máxima: 2.560 (Juárez)	Mínima: 45 (Portoviejo); máxima: 150 (Fortaleza)	Santiago: 1.500; San Agustín: 40	Entre 500 y 1.560 m
		Latitud (°)	Entre 31°44' N (Juárez) y 32°53' S (Mendoza)	Entre 10°38' N (Liberia y Maracaibo) y 1°03' S (Portoviejo)	Santiago: 33°27' S; San Agustín: 12°01' S	Entre 14°46' N (Sololá) y 25°15' S (Luque)
	Principales actividades económicas		Agricultura: 2; minería: 1; industria: 3; comercio: 2	Agricultura: 1; minería: 1; industria: 1; comercio: 1	Industria y agricultura	Agroindustria y agricultura
Recursos agua y suelo	Clima	Tipo	Tropical húmedo: 1; subtropical árido: 1; templado húmedo: 1; templado semiárido: 2; templado árido: 3	Tropical húmedo: 2; tropical semiárido: 1; tropical árido: 1	Templado semiárido; subtropical árido	Tropical húmedo (2); subtropical húmedo (1); templado húmedo (1)
		Precipitación (mm)	Mínima: menos de 5 (Antofagasta); máxima: 1.600 (La Vega); promedio: 410.	Mínima: 490 (Portoviejo); máxima: 1.640 (Liberia); promedio: 1.230	Santiago: 320; San Agustín: menos de 2	Entre 400 y 2.000; promedio: 1.375
		Temperatura (°C)	Mínima: -6 (Juárez); máxima: 41 (Juárez); promedio: 19,0	Mínima: 17 (Portoviejo); máxima: 37 (Maracaibo); promedio: 26,2	Mínima: 4; máxima: 30 (ambas Santiago); promedio: 15,5	Mínima: 12 (Sololá); máxima: 34 (Jinotepe); promedio: 23,8
	Principales recursos hídricos para riego		Agua superficial: 7; residual: 1	Agua superficial: 2; pluvial: 2	Agua superficial y residual (Santiago: diluida; San Agustín: cruda en estiaje)	Agua superficial (4); agua superficial y de pozo (3); residual (Ibagué)
	Mayor capacidad de uso de suelos		Cultivos temporales: 5; cultivos perennes: 3	Cultivos temporales: 3; cultivos perennes: 1	Cultivos temporales	Cultivos temporales (3); perennes (1)
	Principales cultivos		Cereales: 5; forrajes: 1; industriales: 1; frutales: 1	Hortalizas: 1; cereales: 2; frutales: 1	Frutales; hortalizas	Cereales (2); frutales (1); hortalizas (1)

Cuadro 40. Agua y saneamiento en las cuatro situaciones

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Agua y saneamiento	Cobertura de servicios	Agua potable (%)	Mínima: 51% (Cochabamba); máxima: 99% (Antofagasta); promedio: 84%	Mínima: 79% (Fortaleza); máxima: 97% (Liberia); promedio: 85%	Santiago: 100%; San Agustín: 20%	Jinotepe: 93%; Ibagué: 80%; promedio: 88%
		Alcantarillado (%)	Mínima: 37,3% (Mendoza); máxima: 94,0% (Antofagasta); promedio: 79,0	Mínima: 26% (Liberia); máxima: 85% (Portoviejo); promedio: 52%	Santiago: 98%; San Agustín: 20%	Ibagué: 78%; Jinotepe: 55%; promedio: 69%
		Tratamiento (%)	Mínima: 2,2% (Villa El Salvador); máxima: 90% (La Vega); promedio: 45,1% (de 6 casos)	Mínima: 11% (Fortaleza); máxima: 32% (Liberia); promedio: 23%	Santiago: 5,5%; San Agustín: no hay tratamiento	Sololá: 60%
	Tratamiento de las aguas residuales	Caudal generado (l/s)	Mínimo: 370 (Tacna); máximo: 28.000 (Texcoco); promedio: 4.880	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 20.000 (Portoviejo); promedio: 8.132	Santiago: 13.400; San Agustín: 2.600	Ibagué: 1.380; Jinotepe: 2; promedio: 366
		Caudal tratado (l/s)	Mínimo: 120 (Antofagasta); máximo: 2.500 (Juárez); promedio: 936,8	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 5.000 (Portoviejo); promedio: 2.107	Santiago: 3.200; San Agustín: no hay tratamiento	Sololá: 12; Jinotepe: 2
		Tecnología de tratamiento	Lagunas facultativas/de estabilización: 2; lodos activado/lagunas aereadas: 3; mixtos: 3	Lagunas facultativas/de estabilización: 4	Lodos activados; no hay tratamiento	RAFA: 2; IMHOFF: 1
		Área de tratamiento (ha)	Mínima: 0,1 (Antofagasta); máxima: 280 (Mendoza); promedio: 60,6	Mínima: 0,5 (Fortaleza); máxima: 70 (Maracaibo); promedio: 25	Sin información	Sin información
		Calidad sanitaria del efluente (CF y huevos de nemátodos)	Mínima: 1.0E+02 (Antofagasta); máxima: 2,1E+06 (Cochabamba); promedio: 2.8E+05	Mínima: 5,1E+01 (Fortaleza); máxima: 2,4E+06 (Liberia); promedio: 6,4E+05	Santiago: 1,0E+06; San Agustín: 6,5E+07	Sololá: 1,2E+07; Ibagué: 3.4E+05
		Disposición final de las aguas residuales tratadas	En los dos casos que reportan es <1	En los dos casos que reportan es <1	Sin información	Sin información
	Propuesta para el tratamiento		Riego agrícola: 7; cuerpo de agua y riego: 1	Riego agrícola: 1; cuerpo de agua y riego: 1; cuerpo de agua: 2	Río; campo agrícola (sin tratamiento)	Cuerpos de agua
			Ampliación de planta: 5; modificación de tecnología: 1; mejora de eficiencia: 2	Ampliación de planta: 2; mejora de eficiencia: 2	Santiago: Instalación de planta de lodos activados; San Agustín: instalación de lagunas de estabilización	Ibagué y Luque: instalar plantas de lagunas de estabilización; Sololá y Jinotepe: ampliar cobertura y dar prioridad a la remoción de patógenos

En el grupo ST-CR destaca el extenso uso de aguas residuales (cruda o diluida) en riego. Parece haber una tendencia a la presencia de estos casos en ciudades grandes, en las cuales las coberturas de agua potable y alcantarillado son importantes, no así la de tratamiento. La existencia de grandes volúmenes de agua residual y una extensa red de alcantarillado aumenta las posibilidades de uso inadecuado de estas aguas en diversas actividades, entre éstas el riego agrícola. El grupo ST-SR reporta menores coberturas de servicios de agua y saneamiento, lo que de alguna forma incide en que no se use las aguas residuales para riego. De estos dos últimos grupos se sabe que estas aguas no alcanzan la calidad necesaria para su uso en la actividad agrícola, principalmente porque se desconoce la concentración de parásitos.

El reuso en el grupo CT-CR es propiciado por un déficit de oferta de agua para riego, derivada de la mayor demanda de agua para bebida. Los cereales son los cultivos predominantes, encontrándose asimismo cultivos industriales, hortalizas y pastos en menor grado. La tendencia es a cultivar una sola categoría de cultivo (teniendo en consideración la capacidad de uso del suelo), y se cuenta con experiencia en el manejo de aguas residuales; esto tiene consistencia con el hecho que la mayoría de propuestas buscan mejorar las técnicas agronómicas (riego y manejo agrícola) antes que incorporar o cambiar los cultivos actuales. Los mercados locales predominan sobre otros (por ejemplo exportación). En el grupo CT-SR también predomina un déficit de agua para riego, aunque no aparenta ser tan grave como para considerar a las aguas residuales como parte de la oferta de agua; la actividad agrícola asociada a estas aguas es muy incipiente y limitada a cultivos temporales, como hortalizas y cereales. Con respecto a la situación ST-SR, existe el uso indirecto de las aguas residuales, las cuales son descargadas a cursos de agua y luego utilizadas para riego agrícola o tratadas para consumo humano. En ese sentido, las aguas residuales son consideradas parte de la oferta de agua para riego y son manejadas con los mismos criterios que las aguas superficiales (de hecho, llegan a constituir parte de esta fuente de agua). En este grupo predomina la propuesta de ampliar la superficie de riego, a fin de aprovechar al máximo el agua residual disponible (Cuadro 41).

Los principales impactos a la salud (enfermedades infecciosas y parásitos) en el grupo CT-CR se reportan principalmente en las poblaciones de agricultores; la afectación a los consumidores no se ha confirmado o no se reporta por la ausencia de estudios epidemiológicos o de información disponible. Por otra parte, se hace referencia a contaminación del suelo y la napa con bacterias y materia orgánica, como resultado del riego con aguas residuales no adecuadamente tratadas. En este grupo existen normas para el tratamiento y uso de las aguas residuales, aunque orientadas a la protección ambiental (consideran el nivel de materia orgánica y nutrientes, mas no los patógenos a la salud), pero no para el consumo de productos regados con estas aguas. En el grupo CT-SR el reporte de impactos a la salud es menos frecuente, pero sí se reportan impactos a cuerpos de agua, suelo y napa. El contexto legal es similar al grupo anterior: también existen normas específicas para el tratamiento y uso de aguas residuales, con la misma orientación de protección ambiental. En el grupo ST-CR se menciona la incidencia de impactos a la salud de ambas poblaciones de riesgo (agricultores y consumidores), así como impactos al ambiente (aguas superficiales, napa freática y suelo). La situación legal es similar a los grupos anteriores, con excepción de Santiago (Chile), donde se prohíbe el consumo de hortalizas crudas, y se educa a la población para evitar este tipo de consumo y prevenir la incidencia de enfermedades infecciosas (lo que constituye evidencia de la importancia del problema). En el grupo ST-SR no se aprecia diferencias con respecto al resto de grupos (Cuadro 42).

Cuadro 41. Reuso en las cuatro situaciones

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Reuso	Caudal de aguas residuales para riego (l/s)	Mínimo: 180 (Antofagasta); máximo: 10.000 (Texcoco); promedio: 2.262,5	Mínimo: 6 (Fortaleza); máximo: 52 (Portoviejo)	Santiago: 13.400; San Agustín: 2.600	Ibagué: 1.380; Jinotepe: 2; promedio: 463
	Demanda de agua residual para riego (por agua y nutrientes)	Déficit de agua para riego: 7; La Vega s.i.	Déficit de agua para riego en tres; Portoviejo s.i.	Santiago: alta; San Agustín: única fuente en estiaje	Ibagué y Sololá: las AR se consideran parte de la oferta de agua para riego
	Cultivos irrigados	Hortalizas: 1; cereales: 4; forrajes: 1; industriales: 2. Diversas categorías de cultivos: 3; una sola categoría: 5	Hortalizas: 1; cereales y hortalizas: 1. Diversas categorías de cultivos: 1; una sola categoría: 1	Hortalizas (Santiago: además pastos y cereales)	Ibagué: arroz; Sololá: hortalizas
	Experiencia en manejo de aguas residuales para riego	Amplia: 7; media: 1	Amplia: 1; media: 1; ninguna: 2	Santiago: poca; San Agustín: amplia	Ibagué: amplia experiencia; Sololá: experiencia agrícola con agua superficial
	Área regada con aguas residuales (ha)	Mínima: 550 (La Vega); máxima: 26.000 (Juárez); promedio: 6.082	Mínima: 12 (Fortaleza); máxima: 80 (Portoviejo)	Santiago: 60.000 (riego indirecto); San Agustín: 535 (crudas)	Ibagué: 15.500 (AR diluída); Sololá: 5
	Principales mercados de consumo	Local: 5; local y exportación: 3	Local	Santiago: local y de exportación; San Agustín: local	Local
	Propuesta de reuso	Incorporar cultivos: 3; mejorar técnicas de riego/manejo agrícola: 5	Incorporar cultivos y área de riego: 3; mejorar técnicas de riego/manejo agrícola: 1	Santiago: ninguna; San Agustín: mejorar calidad sanitaria de los productos	Ibagué y Sololá: incrementar área agrícola; Jinotepe y Luque: incorporar área agrícola regada con ART

Cuadro 42. Impactos ambientales y marco legal en las cuatro situaciones

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Impactos ambientales	En la salud humana	Reportan impactos: 5; controlan impactos: 2; no reportan: 1	Reportan impactos: 1; no reportan: 3	Incidencia de enfermedades infecciosas en agricultores y consumidores	Sololá: enfermedades infecciosas y parasitarias en diversos grupos
	En los ambientes de descarga	No descargan: 1; impactos en cuerpos de agua: 3; en napa y suelo: 3; otros: 1	Impactos en cuerpos de agua: 3; en napa y suelo: 1	Santiago: contaminación fecal de aguas superficiales; San Agustín: contaminación del suelo y malos olores	Contaminación fecal de aguas superficiales y subterráneas
Marco legal	Normas legales para el tratamiento	Existen normas específicas: 7; no existen: 1	Existen normas específicas: 3; no existen: 1	Orientadas a la remoción de materia orgánica y nutrientes	Orientadas a la remoción de materia orgánica y nutrientes; Luque: en proceso de definición
	Normas legales para el uso de aguas residuales	Existen normas específicas: 5; no existen: 3	Existen normas específicas: 3; no existen: 1	Santiago: restringe el uso de aguas residuales crudas en el riego; San Agustín: considera las aguas residuales parte de la oferta de agua	No existen
	Normas legales para el consumo de productos regados con aguas residuales	Ningún caso	Ningún caso	Santiago: se prohíbe el consumo de hortalizas crudas; San Agustín: no existen	

Los aspectos sociales y económicos en las cuatro situaciones son complejos y revelan relaciones predominantemente conflictivas o de falta de coordinación, así como poco conocimiento de las variables económicas implicadas. La empresa de agua es pública en casi la totalidad de casos, independientemente de su situación; los agricultores tampoco reflejan una preferencia de agremiación relacionada con la modalidad de manejo de aguas residuales. El grupo CT-CR es el único en el que se menciona la vigencia de acuerdos entre los dos principales actores: la empresa de agua y saneamiento y los agricultores. También destaca por el mayor número y variedad de terceras partes involucradas, mayormente instituciones reguladoras del riego y municipalidades (aún cuando muchas empresas prestadoras de servicios de agua y saneamiento son municipales, tienen autonomía de gestión). Se presenta una gama de costos y valoración de los servicios prestados, así como diferentes políticas de cobro por el agua residual tratada: en unos casos se cobra el agua, aunque en la mayoría existe desconocimiento del costo del tratamiento o impedimento legal para el cobro. El grupo CT-SR se diferencia en dos aspectos: el número de terceras partes es menor, y no existen tarifas por el servicio de saneamiento (sólo un caso reporta conocer el costo del servicio). El grupo ST-CR destaca porque aplican una tarifa por el servicio de saneamiento y, al menos en un caso, se cobra una tasa de riego bajo el mismo concepto que se aplica para el riego con aguas superficiales. El grupo ST-SR no presenta ninguna característica relevante que lo diferencie de los anteriores (Cuadro 43).

Cuadro 43. Actores sociales y aspectos económicos en las cuatro situaciones

Aspectos generales	Aspectos específicos		CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Actores sociales	Empresa de saneamiento	Nombre y tipo de empresa	Pública/municipal: 6; privada: 2	Pública/municipal: 4	Santiago: privada; San Agustín: pública	Ibagué y Sololá: municipales; Jinotepe: pública
		Año de inicio de operaciones de la planta	Más antigua: 1973 (La Vega); más moderna: 2000 (Juárez y Villa El Salvador)	Más antigua: 1963 (Portoviejo); más moderna: 2000 (Liberia)	Santiago: 1993	Sin información
		Población atendida	Mínima: 22.000 (Antofagasta); máxima: 3.000.000 (Villa El Salvador); promedio: 867.300	Mínima: 3.500 (Fortaleza); máxima: 650.000 (Maracaibo); promedio: 215.125	Santiago: 4'900.000	Ibagué: 80.000; Jinotepe: 21.400
	Agricultores	Tipo y tamaño de organización	Asociaciones: 2; asociaciones e individuos: 5; propiedad única: 1	Asociaciones: 3; propiedad única: 1	Asociaciones de agricultores	Asociaciones de agricultores
		Tenencia de la tierra	Privada: 3; privada individual y colectiva: 5	Privada: 2; privada individual y colectiva: 2	Privada y asociativa	Privada y asociativa
	Otros actores relevantes	Reguladores del riego: 4; municipalidades: 4; universidades: 1; oficinas ambientales: 2; instancias multisectoriales: 1; oficinas de salud: 1; oficinas agrarias: 1	Municipalidades: 2; universidades: 1; oficinas ambientales: 1; instancias multisectoriales: 1	Santiago: Consejo Nacional del Medio Ambiente; San Agustín: Municipalidad de El Callao, Ministerio de Salud	Multisectoriales: 2; ambientales: 3; salud: 1	
	Relaciones (conflictos o acuerdos) entre actores	Acuerdos: 2 (Mendoza y Cochabamba); conflictos: 1 (Tacna); disposición a negociar: 1; sin coordinación: 4	Disposición a negociar: 1; sin coordinación: 2; en oposición: 1	Sin coordinación	Institucionalidad débil y sin coordinación; Ibagué: proceso en negociación	
Económicos	Tarifa de saneamiento	Servicios que cubre	Agua y saneamiento: 5; agua y alcantarillado: 2; saneamiento: 1	Agua y saneamiento: 4	Santiago: agua y saneamiento; San Agustín: agua y alcantarillado	Ibagué: agua y alcantarillado; Sololá y Jinotepe: agua y saneamiento
		Tarifa de servicios de saneamiento (\$/m ³)	Cobran saneamiento: 6; mínimo: 0,05 (Mendoza), máximo: 0,50 (Villa El Salvador); promedio: 0,25	No existen	Santiago: 0.10; San Agustín: 0.50	Sin información
	Costo del tratamiento (\$/m ³)	Mínimo: 0,01 (Mendoza, Cochabamba, Tacna, La Vega y Fortaleza); máxima: 0,99 (Tacna); promedio: 0,23	Fortaleza: 0,01	Sin información	Sololá: 0.13	
	Costo del agua para riego (\$/m ³)	Dos casos: Antofagasta (1,33); La Vega (0,01)	Maracaibo: 0,02	Santiago: no se aplica; San Agustín: \$53,4/ha/año	Ibagué: 0.86	

7. IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS CONSIDERADOS CRÍTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS INTEGRADOS

La información disponible en el Proyecto REUSO referente a los aspectos determinantes para la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados en general (Cuadro 44), permitió identificar aquellos considerados críticos para cada situación de manejo en particular, para finalmente sugerir estrategias marco para desarrollar un sistema integrado a partir de cada situación de manejo.

Cuadro 44. Factores que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados

Aspectos generales	Aspectos específicos	Factores determinantes
Técnicos	Recursos agua y tierra	Disponibilidad de terreno
		Capacidad de uso agrícola
		Demanda de agua residual para riego (agua y nutrientes)
	Actividad agrícola	Mercados y canales de comercialización
		Experiencia en actividades productivas
		Técnicas de manejo agronómico con aguas residuales tratadas
		Eficiencia productiva (productividad y costos)
	Tratamiento de las aguas residuales	Políticas de las empresas de agua con respecto a las aguas residuales
		Requerimientos de calidad sanitaria, ambiental y agronómica del efluente
		Localización y dimensionamiento del sistema de tratamiento
		Selección de tecnología
		Sostenibilidad de la operación y mantenimiento de la planta (capacidad técnica y tarifas)
Ambientales	Contexto legal	Marco regulador y normativo del ordenamiento ambiental
		Parámetros de calidad del agua para la disposición y uso de las aguas residuales domésticas
		Normas técnicas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas
		Normas técnicas para el uso agrícola de las aguas residuales domésticas
		Derechos de uso de las aguas residuales tratadas
	Gestión	Evaluación de los impactos ambientales significativos
		Vigilancia de la calidad del agua residual y los productos agrícolas
		Manejo de lodos y excedentes de agua
		Manejo de riesgos de accidentes y contingencias en el manejo del agua
Sociales	Cultural	Identificación y características de los actores (directos, indirectos, grupos de interés, competencia, afectados)
		Conocimiento de los actores acerca del tratamiento y uso de las aguas residuales
		Nivel de aceptación del sistema integrado por parte de los actores
	Institucional	Tenencia de tierras
		Necesidades, intereses y relaciones entre actores
		Organización comunal o privada de los agricultores
		Mecanismos de gestión del sistema integrado
Económicos	Capacidades	Capacidad de inversión, endeudamiento y operación de los responsables de los sistemas integrados
		Capacidad de pago de los usuarios y mecanismos de cobranza
		Estrategia de financiamiento para sistemas integrados (estructura y líneas de financiamiento)
	Indicadores	Rentabilidad económica
		Rentabilidad financiera
		Valoración económica de los impactos ambientales
		Análisis de sensibilidad

7.1 Situación CT-CR

Los casos en la situación CT-CR son los que mejor ilustran la diversidad y complejidad de los aspectos que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados y, aunque aún ninguno constituye ejemplo cabal de los beneficios potenciales para la población urbana y la actividad agrícola relacionada, permiten extraer importantes conclusiones y recomendaciones.

Existe conciencia de la necesidad de tratar las aguas residuales como un medio para reducir los impactos negativos de su disposición o uso inadecuados, lo que se refleja principalmente en la mejora de la cobertura de alcantarillado, en la asignación o reserva de áreas para la instalación de plantas de tratamiento, en la inclusión del costo del tratamiento en la tarifa por los servicios de agua y saneamiento, en la definición de un marco regulador y normativo del tratamiento, y en el mayor nivel de participación de los actores involucrados. Sin embargo, en varios de estos y otros aspectos hace falta mayor definición de algunos componentes clave tales como:

- Incorporación efectiva de las aguas residuales tratadas como parte de la oferta de agua para riego en la cuenca, así como de áreas para la instalación de sistemas integrados en el ámbito urbano;
- Promoción de la agricultura urbana como estrategia para asegurar el abastecimiento de alimentos a la población;
- Incorporación de criterios de salud (control de bacterias y parásitos) en la legislación y normatividad referidas al manejo (recolección, tratamiento y uso) de las aguas residuales domésticas, para orientar adecuadamente la selección de tecnología de tratamiento, las prácticas agronómicas y los estándares de calidad de los productos a ser comercializados;
- Desarrollo de sistemas de control y vigilancia de la calidad sanitaria de las aguas residuales y los alimentos o productos regados con estas aguas;
- Consideración de los aspectos sociales (necesidades, intereses y relaciones entre actores clave) y económicos (capacidad y cultura de pago de los usuarios, capacidad de inversión y operación de los operadores de servicios de agua y saneamiento) en la sostenibilidad de los servicios;
- Difusión de las ventajas económicas y sociales de los sistemas integrados: menor costo de tratamiento, generación de producción agrícola, y reducción de los riesgos a la salud relacionados al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas.

En esta situación la principal limitación para el desarrollo de sistemas integrados es la existencia de instituciones con funciones y competencias específicas, pero que no cuentan con mecanismos eficientes para concertar una agenda común; la estrategia más recomendable para implementar estos sistemas es la negociación de acuerdos que permitan complementar ambas actividades.

7.2 Situación CT-SR

Los casos en esta situación pudieran presentar alguna limitación de recursos (agua o tierra) o experiencia en el manejo de las aguas residuales. También se caracterizan por una escasa o nula coordinación entre los actores principales y carecen de mecanismos de cobranza del servicio de tratamiento. Se puede afirmar que existe conciencia de los beneficios de tratar las aguas residuales como un medio para reducir los impactos negativos de su disposición o uso inadecuados, mas no así de su uso en riego. Los aspectos en los que hace falta mayor definición de algunos componentes clave son:

- Reconocimiento de las aguas residuales como fuente de agua para riego;
- Mayor conocimiento de las ventajas y requerimientos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales orientados a la remoción de patógenos humanos;
- Mayor conocimiento de los componentes de costo del tratamiento (por parte de los operadores y usuarios), su aceptación por parte de los usuarios y su incorporación en la tarifa de los servicios;
- Mayor coordinación entre los actores clave, con el propósito de generar las condiciones necesarias para identificar y maximizar los beneficios mutuos e individuales de los sistemas integrados.

En esta situación, en la que existe representación de un solo actor clave (el operador de servicios), la estrategia más recomendable para implementar sistemas integrados es desarrollar una cultura de reuso, incorporando paulatinamente el uso de aguas residuales en el riego de áreas recreativas, para posteriormente ampliar su uso en otros tipos de cultivos.

7.3 Situación ST-CR

Los casos en la situación ST-CR, entre los que puede considerarse el uso indirecto de las aguas residuales crudas, enfrentan los entornos más adversos: los usuarios de estas aguas y los consumidores de los productos regados están más expuestos al contagio de enfermedades infecciosas; además, tanto la prestación de los servicios de saneamiento como la actividad agrícola se desarrollan generalmente contraviniendo el marco regulador.

Se puede afirmar que existe mayor conciencia (que en las demás situaciones) de la necesidad de tratar las aguas residuales como un medio para reducir los impactos negativos de su disposición o uso inadecuados. Los principales aspectos favorables de esta situación son la mayor experiencia en el manejo de estas aguas, la explotación de áreas agrícolas generalmente de alto rendimiento, y la existencia de organizaciones agrícolas de mediana o gran envergadura.

Entre los aspectos en los que hace falta mayor definición de algunos componentes clave se considera:

- Asignación de área para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la zona agrícola o urbano periférica cercana, a fin de realizar el tratamiento cerca al área de reuso;
- Desarrollo de técnicas de cultivo y manejo agronómico con aguas residuales, cuyas características difieren de las otras fuentes de agua para riego;
- Promoción del tratamiento de las aguas residuales (orientado a la remoción de patógenos humanos) como mecanismo eficaz para proteger la salud pública;
- Incorporación efectiva de criterios de salud (control de bacterias y parásitos) en la legislación y normatividad referidas al manejo (recolección, tratamiento y uso) de las aguas residuales domésticas, para orientar adecuadamente la selección de tecnología de tratamiento, las

prácticas agronómicas y los estándares de calidad de los productos a ser comercializados;

- Evaluación de los impactos a la salud y al ambiente derivados del manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas;
- Promover la coordinación entre los principales actores (operadores de servicios de saneamiento y agricultores) para incorporar el tratamiento a la actividad agrícola;
- Difusión de las ventajas económicas y sociales de los sistemas integrados (menor costo de tratamiento, generación de producción agrícola, y reducción de los riesgos a la salud relacionados al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas) con respecto al desarrollo del tratamiento o el reuso aislados.

En forma similar a la situación previa, en esta situación por lo general sólo existe representación de un solo actor clave (los agricultores). En este caso, la estrategia más recomendable para implementar sistemas integrados es promover la generación de conciencia entre las autoridades, los responsables de los servicios de saneamiento y la población en general respecto a la necesidad y responsabilidad de la ciudad de tratar sus aguas residuales. Los agricultores constituyen un aliado estratégico para reducir los costos del tratamiento y el volumen de vertimientos descargado al ambiente.

7.4 Situación ST-SR

Los casos en la situación ST-SR debieran ser los más interesantes en términos de posibilidades para la implementación de sistemas integrados, ya que ambos componentes se encuentran en proceso de definición. Sin embargo, esta misma situación pudiera hacer que los aspectos determinantes para la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados sean orientados hacia otros objetivos, generándose entornos desfavorables.

En forma similar a los demás casos, existe creciente conciencia de los riesgos para la salud y el ambiente asociados al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas, lo que se refleja principalmente en los procesos de mejora o definición de políticas de saneamiento y en el mayor nivel de participación de los actores involucrados. En varios de estos y otros aspectos hace falta mayor definición de algunos componentes clave tales como:

- Inclusión de las aguas residuales como parte de la oferta de agua para uso agrícola;
- Inicio del uso de aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes recreativas, cultivo de cereales y áreas forestales;
- Promoción del tratamiento de las aguas residuales (orientado a la remoción de patógenos humanos) como mecanismo eficaz para proteger la salud pública;
- Incorporación de criterios de salud (control de bacterias y parásitos) en la legislación y normatividad del manejo (recolección, tratamiento y uso) de las aguas residuales domésticas;
- Generación de conciencia entre las partes interesadas acerca de las ventajas del enfoque

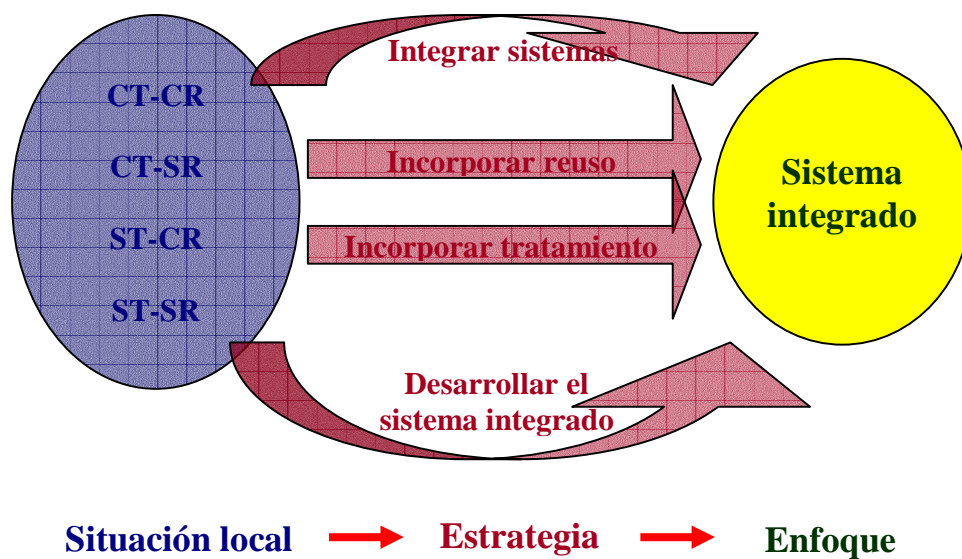
integrado;

- Difusión del incremento de la cobertura de tratamiento y de la reducción de los impactos a la salud y al ambiente;
- Valoración adecuada de los beneficios sociales y económicos de los sistemas integrados: menor costo de tratamiento, generación de producción agrícola, y reducción de los riesgos a la salud relacionados al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas.

Dado que en esta situación no existe institucionalidad (o es débil) representando a los principales actores, la estrategia recomendable es el fortalecimiento y concertación de estas instituciones alrededor de una agenda común orientada a viabilizar la integración de ambas actividades.

La Figura 2 ilustra las diferentes estrategias sugeridas para el desarrollo de los sistemas integrados a partir de cada situación de manejo investigada y descrita en el Proyecto REUSO:

Figura 2. Esquema del desarrollo del proyecto



Cuadro 45. Factores críticos y estrategias sugeridas para cada situación de manejo para la implementación de sistemas integrados

Aspectos generales	Aspectos específicos	CT-CR	CT-SR	ST-CR	ST-SR
Técnicos	Recursos agua y tierra	Incorporación efectiva del agua residual tratada en la oferta de agua para riego y de terrenos urbanos para la instalación de sistemas integrados	Inclusión de áreas para riego en las áreas reservadas para el tratamiento de las aguas residuales	Inclusión de área para el tratamiento de las aguas residuales en el área agrícola o urbana periférica	Inclusión de las aguas residuales como parte de la oferta de agua para uso agrícola
	Actividad agrícola	Promoción de la actividad agrícola formal y tecnificada en el ámbito urbano	Inicio del uso de aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes recreativas, cultivo de cereales y áreas forestales	Incorporación de técnicas de cultivo y manejo agronómico con aguas residuales tratadas	Inicio del uso de aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes recreativas, cultivo de cereales y áreas forestales
	Tratamiento de las aguas residuales	Dar prioridad a la remoción de patógenos y a la reducción del costo del tratamiento por la integración con la actividad agrícola		Promoción del tratamiento de las aguas residuales para el manejo adecuado de los riesgos a la salud	
Ambientales	Contexto legal	Incorporación de criterios de protección a la salud en la regulación y normas técnicas para el manejo (recolección, tratamiento y uso) de las aguas residuales domésticas			
	Gestión	Desarrollo de sistemas de control y vigilancia de la calidad sanitaria de las aguas residuales y los productos regados	Evaluación de los impactos a la salud y al ambiente, asociados al manejo de las aguas residuales		Generación de conciencia entre las partes interesadas acerca de los impactos a la salud y al ambiente asociados al manejo de las aguas residuales
Sociales	Cultural	Generación de conciencia y aceptación de la población urbana de la responsabilidad de tratar las aguas residuales, y de las ventajas de los sistemas integrados en la salud y la seguridad alimentaria urbana			
	Institucional	Promoción de acuerdos entre las partes interesadas para consolidar la integración del tratamiento y el uso agrícola de las aguas residuales	Organización de la actividad agrícola para negociar la instalación y gestión de sistemas integrados	Coordinación con los responsables del manejo de las aguas residuales para incorporar el tratamiento a la actividad agrícola	Generación de conciencia entre las partes interesadas acerca de las ventajas del enfoque integrado
Económicos	Capacidades	Difusión de la reducción de los requerimientos de inversión y costos operativos, así como de la tarifa del servicio por el menor costo del tratamiento en un sistema integrado		Mejora de la cobertura de tratamiento por el menor requerimiento de inversión del enfoque integrado	Difusión del incremento de la cobertura de tratamiento y de la reducción de los impactos a la salud y al ambiente
	Indicadores	Mejora de la evaluación social del sistema integrado por una más adecuada valoración de los impactos ambientales positivos		Evaluación de las ventajas económicas del sistema integrado con respecto al tratamiento o reuso aislados	Valoración adecuada de los beneficios sociales y económicos de los sistemas integrados