

Proyecto Regional

Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en
América Latina: Realidad y Potencial
Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS
2000 - 2002

**Guía para la
Formulación de Proyectos de Sistemas
Integrados de Tratamiento y Uso de
Aguas Residuales Domésticas**

Elaborada por el Comité Técnico del Proyecto:

*Ing. Julio Moscoso Cavallini, Investigador Principal
Ing. Luis Egocheaga Young, Investigador Asociado
Ing. Roberto Ugas Carro, Investigador en Aspectos Agrícolas
Lic. Eloísa Tréllez Solís, Investigadora en Aspectos Sociales*



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, 2002

© 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	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. Proceso de desarrollo del proyecto	2
3.1 Conceptualización del modelo de sistema integrado	3
3.2 Ubicación del estudio en el contexto de la cuenta.....	4
3.3 Identificación del contexto social en el área de estudio	4
3.4 Identificación del contexto legal de las aguas residuales	4
3.5 Evaluación del tratamiento y reúso existentes	5
3.6 Diagnóstico ambiental del área de estudio	5
3.7 Identificación de los actores involucrados en el proyecto.....	5
3.8 Evaluación de los recursos agua y suelo en la cuenta	6
3.9 Definición de la propuesta de un sistema integrado.....	6
3.10 Socialización de la propuesta con los actores involucrados.....	7
3.11 Elaboración del plan agrícola	7
3.12 Diseño del sistema de tratamiento.....	7
3.13 Definición del plan de implementación del proyecto.....	8
3.14 Formulación de la propuesta de gestión del proyecto	8
3.15 Definición de la estrategia para el financiamiento del proyecto	8
3.16 Evaluación económica y financiera del proyecto.....	8
4. Metodología para desarrollar los factores que determinan la viabilidad	9
4.1 Aspectos técnicos	10
4.1.1 Recursos de agua y suelo.....	10
4.1.2 Actividades agrícolas	13
4.1.3 Tratamiento de aguas residuales.....	17
4.2 Aspectos ambientales	22
4.2.1 Contexto legal.....	22
4.2.2 Gestión ambiental.....	25
4.3 Aspectos sociales.....	28
4.3.1 Aspectos culturales.....	29
4.3.2 Aspectos institucionales	31
4.4 Aspectos económicos	33
4.4.1 Capacidades.....	33
4.4.2 Indicadores	35
5. Términos de referencia sugeridos para los estudios de viabilidad	38
6. Referencias para los estudios de viabilidad	41

GUÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

América Latina es una de las regiones con mayor concentración de población en áreas urbanas y alberga a más de 360 millones de habitantes (74% de su población total). La cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas es de solo 14%. Existen más de 500.000 ha de cultivos regados con aguas residuales, en su mayor parte sin tratamiento, lo que implica un alto riesgo de diseminación de enfermedades entéricas.

En este contexto, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (IDRC) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) suscribieron un convenio para que el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) ejecutara entre los años 2000 y 2002 el proyecto **Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial**. Los propósitos del proyecto fueron analizar las experiencias de la Región de América Latina, recomendar estrategias para el diseño e implementación de estos sistemas e identificar nuevas oportunidades.

El Proyecto ha sido ejecutado en tres etapas de recopilación y análisis de información en diversas ciudades de la Región que poseen o no tratamiento y hacen uso o no de sus aguas residuales domésticas. En la primera etapa de **Estudios Generales** se abordaron aspectos técnicos y económicos generales de 18 casos. Luego se seleccionaron 11 de los 18 casos para ejecutar la segunda etapa de **Estudios Complementarios**, que incluyó la evaluación de los aspectos ambientales, sociales, culturales y legales, así como la elaboración de una propuesta preliminar para la integración del tratamiento y uso agrícola de las aguas residuales. Durante la última etapa de **Estudios de Viabilidad**, se eligieron siete de estos 11 casos y se promovió la socialización y desarrollo de estas propuestas con los principales actores locales. El cuadro 1 presenta los casos seleccionados para representar las cuatro situaciones del manejo de las aguas residuales: ciudades donde se tratan y usan las aguas residuales para riego agrícola,

Cuadro 1. Relación de estudios de caso para 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)

ciudades donde se tratan pero no se usan las aguas residuales, ciudades donde se riega con aguas residuales sin tratamiento y ciudades donde ni se tratan ni se usan aguas residuales para riego.

Estas experiencias sistematizadas han permitido proponer un modelo para integrar el tratamiento al uso e identificar los aspectos que determinan el diseño, implementación y manejo de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas, los que deberán reflejarse en las directrices y guías que elaborará el Proyecto.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo general

El objetivo general de la Guía es presentar una metodología práctica para abordar los aspectos que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas.

2.2 Objetivos específicos

- Proponer una secuencia lógica para abordar la evaluación del problema y la formulación de una propuesta adecuada.
- Describir una metodología práctica para desarrollar los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos que determinan la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta.
- Sugerir los términos de referencia que se considerarán en estos estudios.

3. PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

Las tres etapas de elaboración de los estudios de caso patrocinados por el Proyecto Regional se efectuaron de acuerdo con los patrones convencionales para formular los estudios de preinversión. El trabajo de coordinación y las visitas técnicas a las localidades donde se ejecutaron estos estudios permitieron concluir que en algunos casos la secuencia utilizada para el desarrollo de los estudios no era la más adecuada. Por tal razón, el Comité Técnico del Proyecto ha discutido y aprobado la siguiente secuencia para abordar los Estudios de Viabilidad:

- Conceptualización del modelo de sistema integrado
- Ubicación del estudio en el contexto de la cuenca
- Identificación del contexto social en el área de estudio
- Identificación del contexto legal de las aguas residuales
- Evaluación del tratamiento y el reúso existentes
- Diagnóstico ambiental del área de estudio
- Identificación de los actores involucrados en el proyecto

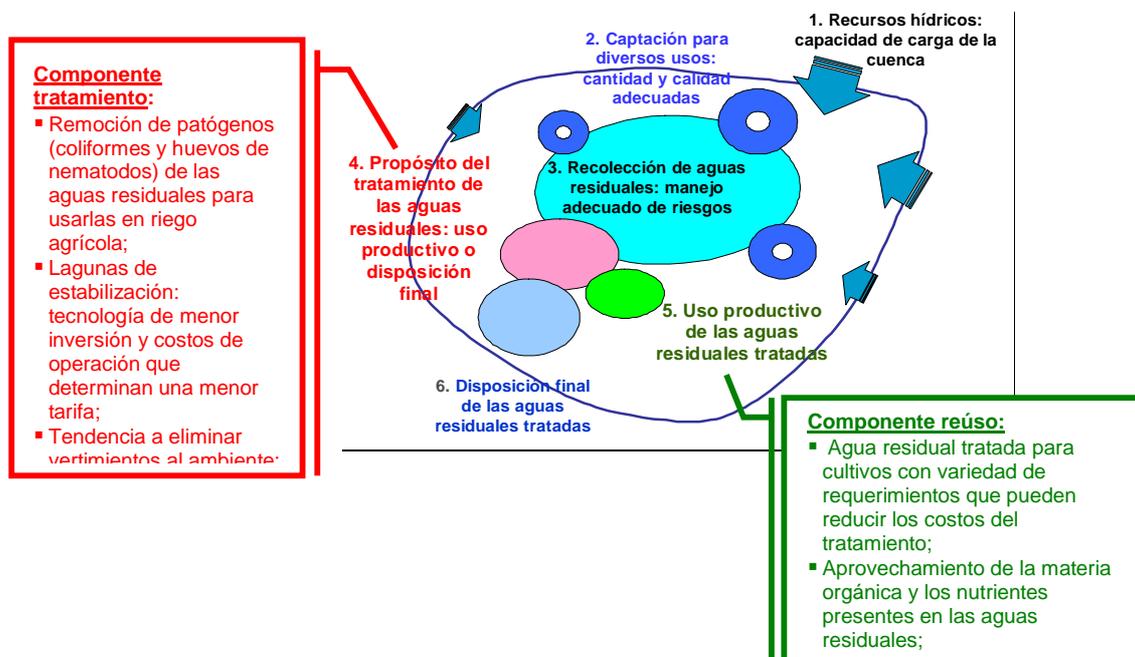
- Evaluación de los recursos agua y suelo en la cuenca
- Definición de la propuesta de un sistema integrado
- Socialización de la propuesta con los actores identificados
- Elaboración del plan agrícola
- Diseño del sistema de tratamiento
- Definición del plan de implementación del proyecto
- Formulación de la propuesta de gestión del proyecto
- Definición de la estrategia para el financiamiento del proyecto
- Evaluación económica y financiera del proyecto.

Esta secuencia no coincide necesariamente con la estructura del documento que se elaborará para presentar el estudio, ya que dicha estructura depende más del orden en que se debe presentar oficialmente el documento, de acuerdo con la norma establecida para la formulación de los estudios de preinversión en algunos países. Por tanto, debe quedar claro que la secuencia señalada intenta proponer en términos prácticos los pasos que se deben seguir para desarrollar el estudio.

3.1 Conceptualización del modelo de sistema integrado

El modelo de sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas incorpora aspectos sanitarios, ambientales, agrícolas, sociales, institucionales, legales y económicos que deberán ser abordados. Por tanto, la institución o consultora responsable deberá conformar un equipo multidisciplinario para elaborar los estudios e incluir estos temas.

Figura 1. Componentes del tratamiento y reúso y su ubicación en el ciclo del agua



El equipo técnico del proyecto procederá a conceptualizar el modelo de sistema integrado (figura 1). En términos generales, propondrá que se adecue el tratamiento de las aguas residuales domésticas para su uso productivo, lo que implica priorizar la remoción de patógenos para proteger la salud pública, en lugar de remover la materia orgánica y los nutrientes que sí son aprovechados en la agricultura. También propondrá la implementación de lagunas de estabilización como la tecnología más apropiada para lograr este objetivo sanitario y el uso de sus efluentes en actividades agrícolas, acuícolas y forestales para reducir los costos de dicho tratamiento.

3.2 Ubicación del estudio en el contexto de la cuenca

La figura 1 muestra cómo se ubicará el proyecto dentro del ciclo del agua de la cuenca. Comprende los siguientes componentes: fuentes y demanda de agua, manejo de los desagües de la ciudad, su tratamiento, el uso actual o potencial para el riego agrícola y su disposición final.

El modelo propone incorporar el sistema integrado a la gestión eficiente del agua en la cuenca, por lo que el aprovechamiento de estas aguas en el riego tenderá a reducir y hasta eliminar las descargas en los ambientes acuáticos naturales, que por más tratamiento que exista, de alguna forma siempre generarán impactos negativos al ambiente.

3.3 Identificación del contexto social en el área de estudio

La mayoría de los estudios técnicos y económicos no abordan la situación social del proyecto, incluso cuando existe una población instalada dentro del área estudiada. Esto ocurre porque se propone manejar la propuesta como si se tratara de actores desarticulados, cuyas decisiones no son compartidas. Sin embargo, muchas veces el área de estudio está ligada a grupos humanos que desarrollan individualmente sus actividades urbanas y agropecuarias dentro de ella. Por tanto, para elaborar el estudio será necesario conocer aspectos como la tenencia de la tierra, la capacidad de pago por el tratamiento o el uso del agua, y la organización comunal o privada de los agricultores.

3.4 Identificación del contexto legal de las aguas residuales

Si bien en la mayoría de los países no existe una legislación definida para el tratamiento y uso de aguas residuales domésticas, es necesario identificar los dispositivos legales que podrían prohibir, limitar o promover los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas. Debe quedar claro que toda propuesta estará supeditada al marco regulador del país, aun cuando este no sea el más propicio para el proyecto.

Entre los aspectos legales que deberán revisarse se pueden mencionar: el marco normativo y regulador del ordenamiento ambiental (territorial), los parámetros de calidad del agua residual para su disposición final o uso productivo, las normas técnicas para el tratamiento y uso agrícola de las aguas residuales domésticas y los derechos de uso de las aguas tratadas.

3.5 Evaluación del tratamiento y reúso existentes

Dependiendo de la situación particular de cada caso, con tratamiento y reúso (CT-CR), con tratamiento y sin reúso (CT-SR), sin tratamiento y con reúso (ST-CR) o sin tratamiento ni reúso (ST-SR), será necesario conocer las características de los sistemas de tratamiento y uso que se encuentren en operación.

También es importante conocer la política de la empresa de agua (o municipalidad) respecto al manejo de aguas residuales de la ciudad. Si existe una o varias plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, será conveniente conocer la ubicación y diseño de estas plantas, la tecnología aplicada, la calidad sanitaria de los efluentes y la situación de su operación y mantenimiento.

Si hay áreas agrícolas regadas con aguas residuales, es importante conocer su experiencia en el manejo agronómico de las aguas residuales para los diferentes cultivos, la eficiencia productiva y costos, así como los canales de comercialización y mercados desarrollados para los productos.

3.6 Diagnóstico ambiental del área de estudio

En el caso de no existir tratamiento, el estudio deberá identificar, describir y valorar los impactos causados por la disposición final de aguas residuales domésticas en el ambiente y la salud de la población involucrada. Si ya existen plantas de tratamiento, será necesario evaluar cómo este servicio reduce el impacto de no tratar estas aguas. También se deberá conocer los riesgos de contingencias por sobrecargas, pérdidas de capacidad y estabilidad de los diques en las plantas de tratamiento.

Cuando se identifique el riego de campos agrícolas con aguas residuales, será necesario conocer la calidad del agua utilizada y los riesgos de contaminación de los productos generados. Esta información es más relevante cuando no existe tratamiento previo.

La información mencionada permitirá definir las medidas más convenientes para manejar los impactos ambientales negativos y elaborar el plan de gestión ambiental. Será igualmente importante calcular la inversión y costos operativos requeridos para implementar dicho plan.

3.7 Identificación de los actores involucrados en el proyecto

Es fundamental para la viabilidad del proyecto identificar a los actores directos e indirectos, los grupos de interés y su competencia, así como a los afectados. En estos grupos identificados se deberá indagar el grado de conocimiento que tengan acerca del tratamiento y uso de aguas residuales domésticas, para luego evaluar el nivel de aceptación del modelo integrado.

3.8 Evaluación de los recursos agua y suelo en la cuenca

El conocimiento básico de los recursos hídricos, la fisiografía y capacidad de uso de los suelos permitirán definir el potencial agrícola de la cuenca a fin de ubicar el proyecto en el lugar más apropiado.

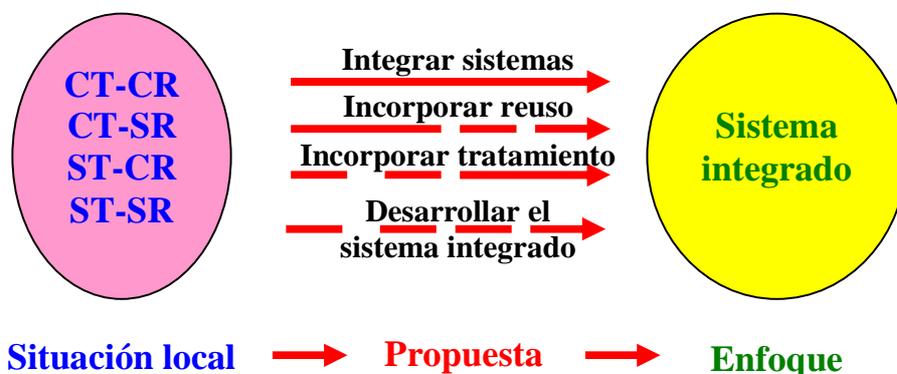
La evaluación de las fuentes de agua (lluvia, aguas superficiales, subterráneas y residuales), así como de su calidad sanitaria y agronómica, será importante para el estudio. La información confiable de la demanda de agua para uso agropecuario y municipal permitirá conocer la disponibilidad efectiva del agua para riego agrícola. Al final se deberá establecer un balance hídrico y la variación estacional de las fuentes estudiadas.

Para formular la propuesta, será necesario conocer la extensión actual y potencial de las tierras irrigables, área que a la vez debe incluir el sistema de tratamiento. Debido a la cantidad de terreno que demandan el área agrícola que será regada y las lagunas de estabilización, es conveniente localizar el proyecto en áreas disponibles amplias y baratas, algo alejadas de la ciudad. Este sistema integrado generará un entorno ecológico de mínimo impacto negativo para la población y la ruta del sistema de conducción también promoverá un desarrollo urbano planificado.

3.9 Definición de la propuesta de un sistema integrado

El enfoque principal de la propuesta es el uso productivo del agua residual tratada, por lo tanto, el estudio se orientará a definir la viabilidad de la propuesta integral, lo que involucra la exploración de diferentes opciones reales o potenciales por parte de los interesados. Teniendo en consideración la situación real de cada caso, se buscará mejorar los sistemas existentes o proponer opciones para desarrollar el componente faltante. Por ello, la propuesta deberá definir los componentes que se deberán implementar, mejorar o ampliar en el caso estudiado. La figura 2 ilustra cómo la propuesta podría variar de acuerdo con la situación del caso.

Figura 2. Esquema del desarrollo del proyecto



3.10 Socialización de la propuesta con los actores involucrados

La información antes recolectada permitirá conocer las necesidades, intereses y relaciones de los actores involucrados para poder definir los mecanismos de gestión del sistema integrado que se proponga. Pero ello no será posible si antes no se conoce la percepción que los actores tengan sobre el proyecto. Se recomienda enfáticamente hacer la socialización del modelo antes de efectuar los estudios técnicos y económicos.

3.11 Elaboración del plan agrícola

La propuesta técnica deberá iniciarse con la formulación del plan agrícola, que contempla la selección y rotación de cultivos y los planes de siembra (áreas, calendario agrícola, producción). En esta parte también se debe definir el método de riego que será implementado, a fin de establecer los requerimientos hídricos en cantidad y calidad.

El manejo agronómico de los cultivos seleccionados determinará los requerimientos técnicos, administrativos y de asistencia técnica del plan agrícola y sus costos de producción. También deberá establecer la modalidad de comercialización de los productos que se piensan generar, identificar los precios, estacionalidad, modalidad y política de ventas. Finalmente se deberá efectuar el cálculo de la inversión y los ingresos esperados.

3.12 Diseño del sistema de tratamiento

Para muchos consultores puede parecer extraño que se proponga definir el sistema de tratamiento después del plan agrícola, ya que tradicionalmente el diseño ha tenido una óptica centrada exclusivamente en el saneamiento. El modelo de sistema integrado propone dimensionar el tratamiento en función de los requerimientos de calidad y cantidad del uso agrícola (cantidad y tipo de cultivos), razón por la que se justifica definir primero el plan agrícola.

La caracterización de las aguas residuales y las exigencias de calidad de los cultivos agrícolas seleccionados para el plan agrícola definirán el tratamiento requerido. La evaluación de las opciones tecnológicas para el plan agrícola permitirá seleccionar la tecnología apropiada para el tratamiento. Es importante recordar que el modelo integrado propone el tratamiento de las aguas residuales domésticas para su uso productivo, lo que implica priorizar la remoción de patógenos para proteger la salud pública en lugar de remover la materia orgánica y los nutrientes, que serán aprovechados por la agricultura que se desarrolle.

La evaluación de la ubicación y diseño de la planta de tratamiento para las opciones del plan agrícola deberá incluir una descripción de las fases del proceso del tratamiento propuesto. El diseño de la planta definirá en planos detallados las características físicas de la infraestructura (lagunas) y de los sistemas de colección y distribución del agua.

La etapa final de los cálculos permitirá establecer los requerimientos de maquinaria, equipo, mano de obra e insumos. De acuerdo con el plan de ejecución de la planta, a

continuación se definirá la inversión, los costos de operación y mantenimiento, y los gastos administrativos del sistema de tratamiento.

3.13 Definición del plan de implementación del proyecto

El plan general de implementación del proyecto estará conformado por el cronograma de ejecución de acuerdos y compromisos, la gestión para el financiamiento y los planes agrícola, de ejecución de la planta, de gestión ambiental y de puesta en marcha del proyecto. Este plan general de implementación es requisito para realizar la evaluación económica y financiera del proyecto.

3.14 Formulación de la propuesta de gestión del proyecto

El tratamiento y uso de las aguas residuales son dos actividades que tradicionalmente se realizan en forma separada e independiente, por lo que en la mayoría de los casos existe una limitada concertación de intereses y alianzas entre los operadores y los agricultores. El modelo propuesto demanda definir los mecanismos para la gestión integrada de ambas actividades (tratamiento y uso). Por lo tanto será necesario definir una modalidad de organización y administración de las unidades de tratamiento y agrícola que se implementen en el proyecto.

Se recomienda elaborar un programa de capacitación y asistencia técnica en el manejo de aguas residuales para asegurar la buena gestión del proyecto.

3.15 Definición de la estrategia para el financiamiento del proyecto

La baja cobertura del tratamiento de aguas residuales en la mayoría de las ciudades se debe a que este servicio aún no ha sido incluido en las tarifas, debido al escaso conocimiento de la importancia que tiene para la población, a la limitada capacidad de pago de los usuarios del servicio de alcantarillado y a los precarios mecanismos de cobranza de las empresas de agua y saneamiento. Por lo tanto, será necesario evaluar la real capacidad de pago y efectuar la valoración económica de los impactos ambientales significativos que genera la disposición final de estas aguas en los ambientes naturales o campos agrícolas. Asimismo, se deberá estudiar la capacidad de inversión, endeudamiento y operación de la institución que tendrá la responsabilidad de administrar el sistema integrado.

Un análisis de las opciones de financiamiento de diferentes fuentes permitirá elegir la más conveniente y luego definir una estrategia de financiamiento para el sistema propuesto (estructura y línea de crédito).

3.16 Evaluación económica y financiera del proyecto

Para concluir el estudio, se realizará el cálculo para definir los montos de inversión fija y capital de trabajo requeridos por la propuesta, así como el cronograma de inversiones, los estados financieros (balances, ganancias y pérdidas, flujos de caja) y calcular los indicadores de rentabilidad (valor actual neto, tasas internas de retorno y beneficio-costos).

Con la información anterior se podrá realizar la evaluación económica y financiera de las opciones de tratamiento y reúso, sustentada en un análisis de sensibilidad del proyecto (inversión, costos, precios), que finalmente permitirá seleccionar y justificar la mejor opción de tratamiento y uso para el proyecto.

4. Metodología para desarrollar los factores que determinan la viabilidad

El enfoque principal de la propuesta es el uso productivo del agua residual tratada. Consecuentemente y dependiendo de la situación de cada caso, el mayor esfuerzo se orientará a definir la viabilidad de una propuesta integral, lo que involucra la exploración de diferentes opciones reales o potenciales por parte de los responsables del estudio.

El análisis de las fortalezas y debilidades permitirá establecer las estrategias para manejar los aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos, legales e institucionales. El análisis de los casos de estudio promovidos por el Proyecto Regional de Reúso ha permitido identificar 35 factores que determinan la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas integrados. El cuadro 2 presenta estos factores, agrupados en cuatro aspectos generales y nueve aspectos específicos.

Cuadro 2. Factores determinantes de la viabilidad 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
	Tratamiento de aguas residuales	Eficiencia productiva (productividad y costos)
		Políticas de las empresas de agua con respecto a las aguas residuales
		Requerimientos de calidad sanitaria, ambiental y agronómica del efluente
		Selección de tecnología
Ambientales	Contexto legal	Localización y diseño del sistema de tratamiento
		Sostenibilidad de la operación y mantenimiento de la planta (capacidad técnica y tarifas)
		Marco regulador y normativo del ordenamiento ambiental
		Parámetros de calidad del agua para la disposición y uso de aguas residuales domésticas
		Normas técnicas para el tratamiento de aguas residuales domésticas
	Gestión	Normas técnicas para el uso agrícola de aguas residuales domésticas
		Derechos de uso de aguas residuales tratadas
		Evaluación de los impactos ambientales significativos
		Vigilancia de la calidad del agua residual y los productos agrícolas
		Manejo de lodos y excedentes de agua
Sociales	Cultural	Manejo de riesgos de accidentes y contingencias en el manejo del agua
		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
	Institucional	Nivel de aceptación del sistema integrado de tratamiento y uso por parte de los actores
		Tenencia de tierras
		Necesidades, intereses y relaciones de actores
		Organización comunal o privada de los agricultores
		Mecanismos de gestión del sistema

Aspectos generales	Aspectos específicos	Factores determinantes
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 (variaciones de costos y precios)	

4.1 Aspectos técnicos

Entre los aspectos técnicos asociados a los sistemas integrados de tratamiento y uso se han definido tres grupos de factores que determinan su viabilidad y sostenibilidad: recursos de agua y suelo, agrícolas y tratamiento de las aguas residuales.

4.1.1 Recursos de agua y suelo

En este grupo se ha considerado el manejo del agua y de los suelos como recursos necesarios para la instalación de los sistemas integrados:

- *Disponibilidad de terrenos*

El concepto de sistema integrado plantea ubicar la planta de tratamiento en el mismo lugar del reúso. Por tanto, es una necesidad básica conocer la extensión actual y potencial de las tierras irrigables, área que a la vez incluirá el sistema de tratamiento. La disponibilidad de los terrenos no solo tiene que ver con su existencia física sino también con la aceptación por parte del propietario(s) para instalar los dos componentes del sistema integrado, tema que será abordado entre los aspectos sociales.

La disponibilidad de terrenos se verifica con los registros de propiedad y catastros, los cuales se encuentran disponibles en los gobiernos locales. Un aspecto especialmente relevante es la propiedad legal de los terrenos y su real disponibilidad para ser asignados al proyecto.

En la mayoría de los países de la Región, los terrenos eriazos, que se podrían considerar como los más adecuados y de rápida disponibilidad, se encuentran bajo tenencia de comunidades u otras organizaciones similares que muchas veces no pueden demostrar los derechos de propiedad sobre éstos, lo que dificultaría la efectiva disponibilidad para los propósitos del proyecto.

Finalmente, hay que evaluar el régimen de uso predeterminado o actual de los terrenos necesarios. Puede darse el caso de limitaciones en los usos potenciales permitidos, lo que dificultaría la instalación de uno de los componentes del sistema integrado, por lo general de la planta de tratamiento.

- *Capacidad de uso agrícola*

Los suelos se clasifican entre otros criterios, según su potencial para sostener la producción de cultivos y las limitaciones que pueden ofrecer a la misma, lo que se denomina capacidad de uso de la tierra o capacidad agrícola. Entre los aspectos más importantes que intervienen en la determinación de la capacidad de uso y que deben ser evaluados dentro de un proyecto integrado se tiene:

- a. Fertilidad del suelo, en cuya evaluación se toma en cuenta la textura del suelo, la profundidad efectiva, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de carbonatos, la salinidad o conductividad eléctrica, y la concentración de los principales elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio). La fertilidad estará influenciada por los usos anteriores que se le haya dado al terreno, sean estos agrícolas, industriales o de otro tipo, y por la presencia de actividades potencialmente contaminantes. La fertilidad del suelo se puede evaluar a través de análisis de caracterización de suelos o de medidas indirectas como los bioensayos.
- b. Limitaciones naturales para la agricultura, como en zonas con toxicidad por presencia de aluminio o sodio, o con mal drenaje y problemas de salinidad, es importante evaluar si los esfuerzos para mejorar estas condiciones pueden afectar la rentabilidad del sistema. Otros factores como el riesgo de erosión en pendientes muy pronunciadas o el riesgo de inundaciones en zonas ribereñas también deben ser analizados para determinar el costo de las intervenciones que se requieran y su impacto en la rentabilidad.
- c. Comportamiento de los suelos frente al agua de riego, lo que requiere analizar la textura y el contenido de materia orgánica, la tasa de infiltración, la retención y el nivel de la napa freática, entre otros. Esto puede ser determinante para decidir el sistema de riego o los cultivos a incluir en el plan agrícola, dependiendo de las necesidades de agua y de la eficiencia productiva. Este comportamiento puede evaluarse por medio de análisis del suelo, pruebas de conductividad hidráulica y bioensayos.

- *Demanda de agua residual para riego*

Entre los aspectos a considerar en este factor se tiene:

- a. Necesidad de agua: el componente agrícola del sistema integrado define la necesidad de agua residual. En agricultura, la demanda insatisfecha de agua para riego puede deberse a la falta o escasez del recurso o a la estacionalidad o distribución de la oferta de agua a lo largo del año. Las aguas residuales se pueden agregar a la oferta de agua para riego. En zonas lluviosas con agricultura de secano, por ejemplo, las aguas residuales pueden permitir que se cultive todo el año si las lluvias se concentran en épocas determinadas y el volumen de aguas residuales es importante. Sin embargo, en otros casos o épocas del año puede requerirse almacenar el agua en épocas de lluvia, cuando los suelos agrícolas puedan estar saturados.

La cuantificación de las necesidades de agua se realiza a través del balance hídrico del área de estudio y la elaboración del plan agrícola. El balance hídrico señala las diferencias entre la oferta y demanda de agua en un plazo definido, normalmente un año agrícola. La oferta de agua está constituida por las fuentes naturales (lluvia, agua superficial, agua subterránea, entre otras) y, en el contexto de los sistemas integrados, las aguas residuales. La demanda de agua la define la necesidad de agua de los cultivos, que incluye la demanda biológica, la evaporación y la filtración.

Para calcular el balance hídrico mensual se determina la diferencia entre la oferta y demanda mensual de agua, lo que arroja un déficit o superávit de agua que permite evaluar opciones de manejo, como las mejoras en los sistemas de riego y la instalación de reservorios.

Cuadro 3. Formato para el balance hídrico

Componente	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
OFERTA (+):												
Caudal del río												
Precipitación												
Aguas residuales												
DEMANDA (-):												
Requer. biológico del cultivo												
Evapotranspiración del cultivo												
Evaporación												
Infiltración												
BALANCE (+ ó -)												

- b. Necesidad de materia orgánica y nutrientes: el agua residual es frecuentemente apreciada por su aporte de nutrientes, lo que puede analizarse a través de su contenido de materia orgánica o de nutrientes mayores y menores indispensables para la nutrición de las plantas. La materia orgánica es un recurso indispensable para mejorar la calidad del suelo en términos físicos, químicos y biológicos. Por lo general, los suelos agrícolas de América Latina presentan bajas concentraciones de materia orgánica. El insumo más utilizado para agregar materia orgánica al suelo es el estiércol, que en muchos lugares es cada vez más escaso, caro o de calidad inadecuada. Por estas razones, el aporte de materia orgánica a través de las aguas residuales puede ser un factor decisivo para lograr

la aceptación de los sistemas integrados por parte de los agricultores. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que el estudio de la dinámica en el suelo de la materia orgánica aportada por aguas residuales es aún incipiente y se requiere mayor investigación en instancias como las universidades.

El aporte de nutrientes al cultivo puede significar un ahorro importante en el uso de fertilizantes químicos, que son el principal insumo para la fertilización.

4.1.2 Actividad agrícola

Durante el desarrollo del proyecto se ha podido analizar diversas situaciones en las que resulta evidente que la producción agraria integrada con el tratamiento de aguas residuales domésticas debe además de cumplir con requerimientos obvios, tales como eficiencia productiva y canales de comercialización adecuados, adaptarse a ciertos condicionamientos determinados por el uso de aguas residuales. Los principales factores que determinan la viabilidad de los sistemas integrados y su sostenibilidad, desde el punto de vista agrícola, son los siguientes:

- *Mercados y canales de comercialización*

Los sistemas integrados deben tener una adecuada vinculación con el mercado y ofertar de manera sostenida lo que éste demande por tipo de producto, cantidad y calidad. Sin duda, el proyecto de sistema integrado no debe solo asegurar agua para la agricultura, también debe promover cambios en la actividad agraria, por lo que deben identificarse los cultivos con mejor acceso a los mercados. Los agricultores e inversionistas deben comprender que con frecuencia será necesario o recomendable introducir modificaciones en los sistemas productivos existentes cuando se les quiere integrar eficientemente con el tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 4. Formato para elaborar la serie histórica de la producción, precios y ventas de los principales productos cultivados en la zona del proyecto

Cultivo	Variables de Mercado	Año										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Volumen (TM)											
	Precio (US \$ / TM)											
	Ingreso (US \$)											
2	Volumen (TM)											
	Precio (US \$ / TM)											
	Ingreso (US \$)											
3	Volumen (TM)											
	Precio (US \$ / TM)											
	Ingreso (US \$)											
4	Volumen (TM)											
	Precio (US \$ / TM)											
	Ingreso (US \$)											
5	Volumen (TM)											
	Precio (US \$ / TM)											
	Ingreso (US \$)											

La existencia de canales de comercialización adecuados hace referencia a la integración de las actividades agrarias con los procesos que aumentan el valor agregado del producto, como es el procesamiento agroindustrial, o con adecuadas técnicas de manejo poscosecha que disminuyen el deterioro. En este sentido, es importante reconocer que en buena parte de América Latina las pérdidas poscosecha con frecuencia son mayores que las causadas por plagas, enfermedades y malezas en los campos de cultivo.

Finalmente, en cada país debe analizarse si estos sistemas integrados, por tratarse de una forma de estrecha vinculación entre pobladores urbanos y rurales para reciclar recursos escasos, deben recibir estímulos gubernamentales o de otro tipo.

- *Experiencia en actividades productivas*

Los sistemas integrados debieran promover mejoras en las técnicas de producción y, principalmente, tomar en consideración que la capacitación de los agricultores es vital para una agricultura competitiva y un sistema integrado eficiente y sostenible. En la capacitación de los agricultores es necesario reforzar los aspectos de uso eficiente del agua, sistemas mejorados de riego, planes de fertilización de los cultivos que tomen en cuenta los aportes de las aguas residuales, manejo integrado de plagas y enfermedades y selección de cultivos según la demanda del mercado. Estas necesidades de capacitación deben analizarse adecuadamente, ya que demandan costos y compromisos de los beneficiarios y ejecutores del proyecto.

- *Técnicas de manejo agronómico con aguas residuales*

El uso de aguas residuales en agricultura requiere una adecuación del plan agrícola que involucra la selección de cultivos, el uso del agua y los planes de fertilización:

- a. Selección de cultivos: consiste en determinar el cultivo o las combinaciones de cultivos más apropiados a las condiciones de la zona para garantizar la sostenibilidad del sistema integrado en términos de rentabilidad. Esta selección está determinada por factores como la capacidad de uso de la tierra, el clima, el tamaño de las propiedades y el nivel de inversión, la organización de los productores y las vinculaciones con actividades como la agroindustria o ganadería. Desde el punto de vista del sistema integrado, la calidad del agua de riego en términos sanitarios está determinada por el tipo de cultivo seleccionado. Si bien es frecuente encontrar plantaciones forestales o huertos de frutales regados con aguas residuales, conforme mejora la calidad del agua y su integración con la agricultura, es más frecuente observar la siembra de cultivos de tallo corto y hortalizas.
- b. Uso del agua: los sistemas integrados tienden a incorporar mejoras paulatinas en el manejo del agua residual tratada, en especial, lo referente a la reducción de pérdidas y la mayor eficiencia de uso. Esto incluye mejoras en las vías de conducción (canales, acequias, zanjas, etc.), en la infraestructura de almacenamiento (reservorios, represas, etc.) y en los sistemas de riego.

Adicionalmente, con frecuencia se deben realizar obras previas de mejoramiento de la infraestructura productiva como mejoras en el drenaje, control de erosión en laderas a través de terrazas u otras estructuras, forestación para protección de taludes, entre otras.

Los sistemas de riego pueden clasificarse en dos grandes grupos: por gravedad y tecnificado o presurizado. En el riego por gravedad se aprovecha esta fuerza para conducir el agua hasta los campos, en los que se distribuye a través de surcos o por inundación. La eficiencia de utilización del agua en el riego por gravedad es bastante baja ya que las pérdidas por infiltración o evaporación son altas. Las distintas formas de riego tecnificado procuran llevar el agua a través de tubos o mangueras hasta muy cerca de la planta, lo que disminuye las pérdidas y permite mayor productividad de los cultivos. El riego tecnificado requiere equipos de presión para llevar el agua y mayores inversiones en equipos y materiales. Entre los principales sistemas de riego tecnificado o presurizado se tiene, en orden creciente de eficiencia de utilización de agua, a la aspersión, la microaspersión y el goteo. Es necesario tener en cuenta, sin embargo, que las partículas que puede contener el agua residual tratada pueden afectar el funcionamiento de algunos sistemas, por lo que hay que realizar una adecuada selección de la tecnología. También es importante considerar que la aspersión o microaspersión puede depositar sobre las hojas de los cultivos partículas u organismos que afectarían la calidad del producto final si el agua de riego no tiene la calidad sanitaria adecuada, lo que no necesariamente ocurriría con el riego por surcos o por goteo.

Cuadro 5. Sistemas de riego aplicados en el área de estudio

Sistemas de riego	Área regada (ha)	Tasa aplicada (m ³ /ha/año)	Eficiencia de utilización del agua (%)
Inundación			
Surco			
Aspersión			
Micro-aspersión			
Goteo			
Otros			

- c. Planes de fertilización: la forma más frecuente de proveerle a los cultivos los nutrientes necesarios es a través de fuentes de materia orgánica (estiércol, compost, abonos verdes) y fertilizantes sintéticos. Mientras que la materia orgánica suele tener menores concentraciones de prácticamente todos los nutrientes (mayores y menores) que requieren las plantas, además de estimular la vida del suelo, los fertilizantes sintéticos suelen tener altas concentraciones de unos pocos nutrientes (principalmente nitrógeno, fósforo y potasio). Un

creciente problema de la agricultura convencional moderna es la dependencia de insumos sintéticos. Las aguas residuales son fuente comprobada de nutrientes presentes en la materia orgánica que contienen, aporte debe ser considerado al elaborar los planes de fertilización. Si bien aún se requiere estudios que cuantifiquen estos aportes y su disponibilidad efectiva para las plantas, lo cierto es que esta ganancia de materia orgánica y nutrientes se reconoce y aprecia en el crecimiento más acelerado y vigoroso de las plantas.

Sin embargo, en muchos lugares donde se utiliza aguas tratadas, las dosis de fertilización suelen ser similares a las que se utilizan en lugares donde se riega con aguas superficiales. En la práctica el uso de aguas residuales es una forma de fertilización que, bien manejada, puede contribuir a mejorar el suelo y la productividad, y reducir los costos y el uso de agroquímicos.

Cuadro 6. Principales características del manejo agronómico de los principales cultivos en el área del proyecto

Detalles del manejo agronómico
Nombre del cultivo
Sistema: monocultivo o policultivo
Abastecimiento de agua preponderante: secano o riego
Consumo de agua por campaña (m ³ /ha)
Nivel tecnológico: bajo, medio o alto
Nivel de mecanización: bajo, medio o alto
¿Se combina tracción animal y mecanizada?
Tipo de semilla utilizada: tradicional, mejorada o híbrida
Disponibilidad de abonamiento orgánico: escasa, media o abundante
Volumen utilizado (TM/ ha / año)
Tasa de fertilización química NPK (kg/ha/año)
¿Se fertiliza con elementos menores?
¿Se reconoce el aporte de nutrientes de las aguas residuales?
¿Se ha cuantificado este aporte?
Número de aplicaciones de agroquímicos por campaña
Productos más aplicados (3 principales)
¿Se respetan los periodos de carencia?
Experiencias de control no químico de plagas y enfermedades: escasas, medias o abundantes
Mencionar las 2 principales experiencias de control no químico de plagas y enfermedades
Productividad (kg/ha): promedio
Promedio nacional
Máxima en la región
Máxima potencial
Requerimiento de mano de obra: jornales (días-hombre/ha/campaña)

Para definir los planes de fertilización es conveniente realizar un balance de nutrientes en forma similar a la metodología empleada para el balance hídrico. Se determina la oferta y demanda de nutrientes por campaña y por tipo de cultivo. La oferta está determinada por la concentración de nutrientes en el suelo, el contenido de materia orgánica y su tasa de mineralización, y el

contenido de nutrientes de las aguas residuales. La demanda está determinada por la extracción media de nutrientes por cultivo y la tasa de aprovechamiento de los fertilizantes a ser aplicados.

- *Eficiencia productiva*

El uso de las aguas residuales en sistemas integrados busca lograr la mayor productividad (en términos de rendimiento por unidad de área y calidad del producto cosechado) y rentabilidad (en términos económicos). Aquellos sistemas que maximicen la eficiencia de utilización del agua y que hagan uso adecuado del aporte de nutrientes de las aguas residuales se encontrarán en mejor posición. Cada vez más, los sistemas agrícolas son evaluados de acuerdo con su sostenibilidad ambiental en términos del nivel de sustitución de agroquímicos por el uso de tecnología menos contaminante o menos costosa. En ese sentido, el uso de aguas residuales tratadas será más apreciado en el futuro y tendrá repercusiones en la rentabilidad del sistema. Por supuesto, la eficiencia productiva no solo depende del manejo del agua y de los nutrientes; se deberá asegurar que las técnicas agronómicas sean bien diseñadas y que formen parte de procesos agrícolas que estén de acuerdo con las buenas prácticas agrícolas (BPA).

4.1.3 *Tratamiento de aguas residuales*

Como se ha expresado al definir el concepto de modelo sistema integrado, se propone tratar las aguas residuales para regar campos agrícolas y forestales, por tanto, el sistema de tratamiento estará supeditado a los requerimientos del plan agrícola definido.

- *Política de la empresa de agua respecto al manejo de aguas residuales*

La mayoría de las empresas de agua y saneamiento de América Latina aún mantienen la política de considerar solo el servicio de alcantarillado para disponer los desagües domésticos generados por la ciudad, sin contemplar ningún tratamiento previo. Un grupo menor, constituido especialmente por empresas de grandes ciudades, ha evolucionado sus políticas hacia el tratamiento para reducir impactos ambientales causados por la disposición, sustentado en tecnologías tradicionales aplicadas en países desarrollados y en una legislación que solo sanciona los vertimientos de materia orgánica y elementos tóxicos. El manejo de riesgos a la salud pública por la diseminación de patógenos a través de las aguas residuales es muy incipiente en la Región.

En el contexto antes citado, para formular un proyecto de sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas resulta fundamental evaluar previamente la política de la empresa de agua y saneamiento. El plan maestro de la ciudad es un primer documento que permite conocer los planes de la empresa. Las reuniones de trabajo con los directivos de la empresa permitirán completar la información sobre este tema.

Como ocurrió con la mayoría de los casos estudiados en el Proyecto, es muy probable que se encuentre un panorama no muy alentador hacia la propuesta de los sistemas integrados. En tal situación, los primeros esfuerzos del estudio estarán orientados a transmitir a los directivos de la empresa las ventajas del modelo del sistema integrado.

- *Requerimientos de calidad sanitaria, ambiental y agronómica del efluente*

El concepto inicial de calidad del agua se definió teniendo en cuenta la posibilidad de utilizarse en primer lugar para el consumo humano y luego para otros usos como el riego agrícola. A este concepto inicial se ha sumado la dimensión ambiental que implica el manejo de los elementos contaminantes presentes en el agua y que cuando se disponen en los cuerpos de agua naturales pueden provocar un impacto negativo en la flora y fauna de dichos ambientes. Esta concepción ha determinado que actualmente la mayoría de las legislaciones nacionales relacionadas con el manejo de aguas residuales consideren la calidad del agua en función de los niveles de sólidos totales, materia orgánica y algunos elementos tóxicos (calidad ambiental) presentes. Son muy pocas las legislaciones que incluyen parámetros relacionados con la salud pública (calidad sanitaria), como parásitos, bacterias y virus patógenos. El tema de la calidad agronómica solo se menciona en las regulaciones establecidas para el uso de aguas naturales en el riego agrícola (ley general de agua), pero ninguna legislación específica la calidad agronómica requerida para el uso de aguas residuales domésticas.

La implementación de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas deberá considerar la calidad del agua en sus tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria deberá estar determinada por las concentraciones de parásitos, representados por los huevos de helmintos y los coliformes fecales como indicador de los niveles de bacterias y virus causantes de enfermedades entéricas en el ser humano. La calidad agronómica estará relacionada con las concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos), así como de aquellos elementos limitantes o tóxicos para la agricultura, como la salinidad y niveles excesivos de boro, metales pesados y otros. Finalmente, la calidad ambiental, aun cuando en principio debería involucrar los parámetros antes mencionados, en la práctica estará más relacionada con las concentraciones de sólidos, materia orgánica, nutrientes y elementos tóxicos que pueden generar impactos negativos en los cuerpos de agua receptores de las descargas.

En el sistema integrado, la calidad de los efluentes de la planta estará de acuerdo con los requerimientos sanitarios y agronómicos de los cultivos agrícolas, acuícolas y forestales seleccionados, en el entendido de que la calidad sanitaria del agua para el riego de un bosque no será tan exigente como cuando se irriga un campo de lechugas. En ese sentido, el sistema de tratamiento formulado para un sistema integrado tendrá efluentes con diversas calidades sanitarias de acuerdo con cada tipo de cultivo. Para el caso de parásitos se propone un tratamiento que los remueva totalmente del agua, con el propósito de proteger la salud de los trabajadores de la planta de tratamiento y de los agricultores regantes.

En suma, el proyecto deberá efectuar una caracterización de las aguas residuales crudas y de los efluentes de la planta de tratamiento, que incluya principalmente los parámetros siguientes:

- Caudal promedio (de las 24 horas en tres días de la semana)
- Temperatura promedio (de las 24 horas en tres días de la semana)
- pH promedio (de las 24 horas en tres días de la semana)
- Sólidos suspendidos totales y volátiles
- Demanda bioquímica de oxígeno (total de 5 días)
- Coliformes fecales
- Huevos de nematodos (helminetos)
- Nitrógeno total
- Nitrógeno amoniacal
- Fósforo total
- Potasio
- Salinidad (o conductividad)
- Elementos tóxicos (si hubiese evidencia de su vertimiento al sistema).

La confiabilidad de los datos antes citados estará estrechamente relacionada con la extensión del periodo de muestreo y la reputación del laboratorio responsable.

- *Selección de tecnología*

La tecnología a seleccionar depende del objetivo del tratamiento de las aguas residuales doméstica para disposición final. En los países desarrollados, el vertimiento de aguas residuales a los cuerpos acuáticos ha demandado principalmente la remoción de aquellos elementos que generan impactos negativos en esos ambientes, especialmente la eutroficación, por lo que siempre se ha optado por un tratamiento altamente eficiente en remoción de materia orgánica y nutrientes, como los lodos activados. Sin embargo, debemos reconocer que las aguas residuales domésticas de los países latinoamericanos se caracterizan por sus elevadas concentraciones de gérmenes patógenos entéricos, por lo tanto su vertimiento a los cuerpos de agua, que luego son utilizados en el abastecimiento para consumo humano y el riego agrícola, implica un alto riesgo de diseminación de enfermedades transmisibles, como las diarreas, tifoidea y cólera.

Por lo expuesto, la tecnología de tratamiento que se seleccione deberá ser eficiente en la remoción de patógenos. Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología más apropiada para lograr este objetivo y el uso de sus efluentes en actividades como la forestal y los cultivos industriales, que son menos exigentes en calidad sanitaria, permite reducir aún más los costos del tratamiento. Además, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas para riego significa reducir y hasta eliminar las descargas que de alguna forma siempre generan impactos negativos al ambiente.

Las lagunas de estabilización constituyen una tecnología de bajo costo, ya que requiere solo 20% de la inversión y 10% de los costos de operación que demandan otras tecnologías. Esta ventaja se logra porque las lagunas:

- alcanzan una eficiente remoción de patógenos sin aplicar un proceso de desinfección;
- no requieren equipos ni energía para su operación, salvo la radiación solar;
- no procesan ni disponen permanentemente los lodos que se generan;
- sus actividades de operación y mantenimiento son muy simples, y
- solo requiere 20 a 50% de personal, comparado con otra tecnología.

Por las razones mencionadas, la OPS/CEPIS viene promoviendo esta tecnología en la Región, sustentada en investigaciones de más de 23 años y en el desarrollo de modelos matemáticos para incorporar el criterio de remoción de patógenos en el diseño.

- *Localización y diseño de la planta de tratamiento*

El concepto de sistema integrado propone ubicar la planta de tratamiento en el mismo lugar del reúso. Por tanto, es necesario conocer la extensión actual y potencial de las tierras irrigables, área que a la vez pueda incluir el sistema de tratamiento. Este requerimiento exige localizar el proyecto en áreas disponibles y algo alejadas de la ciudad, ya que la disponibilidad de tierras y el menor costo no son compatibles con los lugares muy cercanos a la ciudad. Es evidente que esta condición determinará un sistema de conducción del agua residual más extenso, costo que podría ser compensado por el menor valor de los terrenos que se encuentran más alejados de la ciudad. Además, el sistema de conducción del agua puede convertirse en un canal abierto más económico, luego de salir de los linderos de la ciudad. Esta localización generará un entorno ecológico con mínimo impacto negativo para la población y en las zonas áridas se podría convertir en un lugar de esparcimiento para los pobladores urbanos. Por último, la ruta del sistema de conducción del agua también promoverá el desarrollo urbano planificado de la ciudad, ya que permitirá proyectar las nuevas zonas urbanas que se conectarán al sistema.

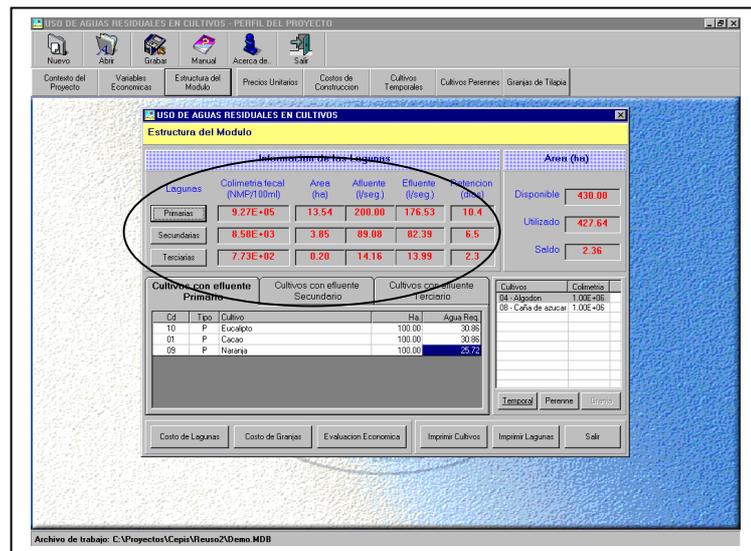
Por lo expuesto, se recomienda a los proyectistas evaluar las posibilidades de localización, aún cuando estas se encuentren considerablemente distantes de la ciudad. Existen casos como San Bartolo en Lima, Perú, que han conducido las aguas residuales hasta 30 km para su tratamiento y aprovechamiento final en el riego de 8.000 ha desérticas. Por tanto, es muy probable que las opciones algo alejadas finalmente constituyan la opción más económica para el proyecto.

El diseño de la planta de tratamiento estará supeditado a las características del agua residual, a las condiciones climáticas (temperatura) y a los requerimientos de calidad sanitaria de las actividades seleccionadas en el plan agrícola. Por tanto, el concepto de diseño tradicional, en función exclusiva de cargas de materia orgánica aplicables, ha sido ampliado con la incorporación de los niveles de remoción de

parásitos y gérmenes patógenos (representados por los coliformes fecales) que se requieran para los diferentes tipos de cultivos seleccionados en un proyecto integrado.

La OPS/CEPIS ha investigado la eficiencia de las lagunas para la remoción de patógenos durante 20 años y ha concluido que los periodos de retención del agua son más importantes que el número de unidades en serie que se conecten. Por tanto, no es siempre necesario que se instalen dos o tres lagunas en serie. También ha comprobado que pueden removerse todos los helmintos por medio de la sedimentación cuando el periodo de retención supera los 10 días. Por último, recomienda diseñar más de dos baterías para manejar la limpieza de lodos mediante el secado de las lagunas cada cinco a 10 años, sin paralizar una parte importante del sistema.

Mediante el Proyecto Regional de Reúso, la OPS/CEPIS ha mejorado su modelo para la formulación de proyectos de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales (REÚSO 2.1), instrumento que fue utilizado por los estudios de caso y que está disponible para los usuarios de la Región. La tecnología de lagunas de estabilización del modelo está orientada al “tratamiento para el reúso”, lo que implica dimensionar la planta por etapas para obtener efluentes con diferentes niveles de calidad sanitaria para diferentes categorías de cultivos. En la parte superior izquierda de la pantalla principal del software se presenta el ambiente “Información sobre lagunas”, que contiene tres botones para cada etapa de tratamiento (lagunas primarias, secundarias y terciarias), seguidos por los datos de colimetría fecal, área utilizada, caudal del efluente y periodo de retención establecidos en función del diseño elegido. El caudal del efluente para cada etapa representa el saldo que ingresará a la siguiente etapa, luego de haberse descontado la parte asignada a los cultivos elegidos.



- *Sostenibilidad de la operación y el mantenimiento de la planta*

Las visitas técnicas a más de 220 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de América Latina han permitido comprobar que 80% de estos sistemas operan en condiciones desfavorables y 10% se encuentran abandonadas. Esta situación es más frecuente cuando las unidades demandan energía y personal calificado. Un ejemplo concreto son las plantas de lagunas aireadas construidas en el nordeste de Brasil y que actualmente ninguna mantiene sus sistemas de aireación.

Si bien existen muchas causas que explican la deficiente operación de las plantas de tratamiento, la mayoría de las empresas aduce limitaciones económicas para explicar esta situación.

En este contexto, se requiere evaluar con objetividad la real capacidad económica y financiera de las empresas de agua y saneamiento para estimar los recursos que puede asignar a la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La experiencia muestra que la mayoría de las empresas aún no incluyen en las tarifas este servicio de tratamiento, por lo que la implementación de los sistemas las obligará a incorporar este costo. También se reportan casos en que la planta ha sido construida mediante donación de algún Gobierno cooperante, pero luego no ha podido ser operada ni mantenida eficientemente por los altos costos. Por tanto, será necesario elegir una tecnología que demande bajos montos de inversión y de costos de operación y mantenimiento, para asegurar la sostenibilidad de la operación del sistema. Antes de la implementación del sistema también será necesario que la empresa de agua comprometa los recursos económicos y humanos.

4.2 Aspectos ambientales

La experiencia de los casos apoyados por el Proyecto señala que los dos aspectos más importantes del área ambiental son la evaluación ambiental y la elaboración de la denominada “línea base” como condición imprescindible para el adecuado manejo de los aspectos ambientales.

4.2.1 Contexto legal

Interesa abordar dos aspectos del marco regulador y normativo ambiental relacionados con el tratamiento y uso de aguas residuales. En primer lugar, el enfoque de la regulación con respecto al objetivo del tratamiento de las aguas residuales. En la mayoría de los países de la Región se incluyen las aguas residuales domésticas e industriales bajo el mismo enfoque y orientan el tratamiento hacia la remoción de materia orgánica, nutrientes y otros componentes perjudiciales para los ambientes libres. En ningún país se considera la adecuación de las aguas residuales (sean domésticas o industriales) con criterios sanitarios y agronómicos para el riego agrícola o de áreas verdes.

En segundo lugar, los instrumentos legales (leyes y reglamentos) y normas técnicas (para el tratamiento y uso agrícola de las aguas residuales) determinan los límites dentro de

los cuales son legalmente exigibles o recomendables las opciones de tratamiento y uso de estas aguas.

El análisis del contexto legal deberá concluir si la legislación favorece o desalienta el uso productivo de las aguas residuales tratadas. Los siguientes factores son considerados determinantes desde el punto de vista ambiental y legal:

- *Marco regulador y normativo del ordenamiento ambiental*

El concepto “ordenamiento territorial” (que denota un instrumento de gestión del territorio basado principalmente en la aptitud de uso del suelo), ha sido incluido en el concepto más amplio de “ordenamiento ambiental”, que considera como criterio de gestión del territorio a las funciones ambientales que coexisten en un espacio definido.

El crecimiento urbano no planificado es la principal amenaza que enfrenta la conservación (o ampliación) de áreas verdes en y alrededor de las ciudades. Esta falta de planificación afecta incluso la preservación de terrenos para la instalación de infraestructura de servicios como el tratamiento de aguas residuales. En ese sentido, es importante identificar las regulaciones y normas legales que definen los criterios y mecanismos de gestión del territorio, en especial, las referidas al desarrollo urbano y la conservación o generación de áreas verdes en la localidad. Los sistemas integrados requieren que las áreas destinadas a la planta de tratamiento (incluidas las áreas de seguridad) y uso agrícola se mantengan intangibles a fin de garantizar que cumplan sus propósitos ambientales específicos (tratamiento y producción agrícola).

- *Parámetros de calidad del agua para la disposición y uso de aguas residuales domésticas*

La mayoría de países de la Región no ha adoptado aún estándares de calidad de agua residual para su disposición, ya sea en ambientes libres o para riego. En los pocos casos que existe regulación, esta se orienta al manejo de impactos en ambientes libres, más no al uso agrícola de las aguas residuales. Entre los parámetros de control de la calidad de vertimientos, el tema de los patógenos se aborda parcialmente (en términos de colimetría fecal) o simplemente se ignora (en términos de huevos de helmintos).

Ningún país ha adoptado las Directrices de la OMS para el aprovechamiento de las aguas residuales domésticas en el riego de cultivos como norma legal, a pesar del innegable impacto negativo del uso irrestricto de las aguas residuales sobre la salud pública. A fin de promover el manejo adecuado de los riesgos a la salud derivados del uso de aguas residuales en el riego agrícola, los proyectos deberán considerar por lo menos estas directrices, que establecen parámetros en función a la salud pública, aún cuando no existan normas legales que regulen la calidad de los vertimientos.

Directrices sanitarias de la OMS (1989)

REUSO	NEMÁTODOS	COLIFORMES FECALES
Riego restringido: forestación, cereales, industriales, frutales, y forrajes.	< 1 huevo/litro	Sin aplicación
Riego irrestricto: cultivos de consumo crudo, piscicultura, campos deportivos, parques públicos.	< 1 huevo/litro	= < 1.000 / 100 ml.

- *Normas técnicas para el tratamiento de aguas residuales domésticas*

Como consecuencia del enfoque de la legislación hacia la remoción de la materia orgánica y los nutrientes de las aguas residuales (sean éstas domésticas o industriales), la mayoría de normas técnicas para el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento se orientan hacia el control de parámetros físicos (temperatura, pH, sólidos totales, sólidos suspendidos), químicos (metales, aceites, polímeros, aniones y cationes) y biológicos (demanda bioquímica de oxígeno -DBO₅- y oxígeno disuelto). Solo recientemente algunas normas están incluyendo la detección de bacterias patógenas (coliformes totales y termotolerantes), pero hasta la fecha ninguna norma técnica considera la determinación de huevos de nematodos, a pesar de la alta tasa de incidencia de parásitos en la población.

En caso de que no exista, el proyecto debiera considerar la propuesta de una norma técnica para el tratamiento de aguas residuales, que incluya el adecuado manejo de los riesgos a la salud a través de la remoción de bacterias patógenas y quistes de parásitos.

- *Normas técnicas para el uso agrícola de aguas residuales domésticas*

No se han identificado normas técnicas para el uso agrícola de las aguas residuales domésticas. Como se ha podido apreciar, las características de estos vertimientos difieren notablemente de aquellos que normalmente se utilizan en la actividad agrícola. El proyecto debe tener en cuenta estas características para recomendar técnicas de riego, uso de agroquímicos y manejo laboral de las aguas residuales que incorporen criterios de salud pública (para la protección de los agricultores), de contenido de partículas (para los sistemas de riego), de nutrientes (para la aplicación de agroquímicos) y de organismos patógenos (para el manejo del riego).

- *Derechos de uso de aguas residuales tratadas*

El derecho de acceso y eventual cobro por el agua residual, independientemente de su nivel de tratamiento demanda una clara definición legal para el adecuado manejo de las aguas residuales. En ninguno de los casos de estudio hay una clara definición de estos derechos y los responsables del tratamiento se excluyen del uso o disposición que se realiza de las aguas residuales fuera de sus instalaciones, ya que su legislación no considera mecanismos para asignar adecuadamente los costos del tratamiento a los usuarios del servicio (de tratamiento) o del agua residual tratada. Un requisito esencial para definir el derecho al acceso y, consecuentemente, el pago por el uso de las aguas residuales, es la responsabilidad sobre la calidad del efluente. Así como la legislación regula otros servicios como el abastecimiento de agua potable, asignando a una entidad la responsabilidad del servicio y el derecho de cobranza, debiera regularse la producción y cobro del servicio de tratamiento de aguas residuales en función de la calidad del vertimiento.

Por tanto, el proyecto debe considerar que la producción de aguas residuales con la calidad requerida por los agricultores implica un costo. Si bien es aceptable un pago de los agricultores por el acceso a este recurso con la calidad requerida, no debe dejarse de lado la responsabilidad de los pobladores de la ciudad en cubrir el costo del tratamiento.

4.2.2 *Gestión ambiental*

La gestión ambiental aborda el manejo de los impactos ambientales significativos. Comprende la identificación y evaluación de estos impactos, su valoración en términos económicos, el control de calidad de los procesos involucrados y la prevención y manejo de posibles contingencias.

Entre los aspectos ambientales considerados en la formulación de proyectos, los siguientes resultan determinantes para los sistemas integrados:

- *Evaluación de los impactos ambientales significativos*

Toda actividad (productiva o no) genera impactos ambientales que requieren ser clasificados de acuerdo con sus efectos (positivos o negativos), temporalidad (temporal o permanente) y extensión (local o regional). Los impactos ambientales significativos representan las principales fortalezas y debilidades ambientales del proyecto y demandan especial atención en su manejo, ya que de ello dependerá la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

La evaluación de los impactos ambientales significativos consiste en cuantificar los beneficios o perjuicios reales (aquellos que se están generando en el ámbito del proyecto) o potenciales (aquellos que se generarán como consecuencia del desarrollo del proyecto) y proponer acciones que sostengan o incrementen los beneficios, o reduzcan o eliminen los perjuicios. El conjunto organizado y secuencial de estas acciones se denomina “Plan de Gestión Ambiental”.

Una metodología práctica para identificar los impactos ambientales significativos consiste en determinar su magnitud mediante la combinación de las tres dimensiones mencionadas (dirección, temporalidad y extensión) de acuerdo con lo siguiente:

Dimensión	Descripción	Valor
Dirección (D)	Positivo	(+)
	Negativo	(-)
Temporalidad (T)	Temporal	1
	Permanente	2
Extensión (L)	Local	1
	Regional	2

Con estos criterios de valoración se establece la magnitud (M) correspondiente a cada impacto ambiental. La fórmula de magnitud de los impactos que permite obtener un puntaje final se expresa como sigue:

$$M = D \times T \times L$$

Donde:

M: Magnitud
D: Dirección
T: Temporalidad
L: Extensión

De esta forma quedará determinada la naturaleza del impacto, como se muestra en el siguiente cuadro:

Intensidad	Magnitud (puntuación)
Fuerte	±4
Moderado	±2
Leve	±1

Cuando el impacto ambiental no es significativo y no afecta mayormente a ningún ámbito existente, obtiene una puntuación de ±1 y se considera leve. Si el impacto tiene un efecto considerable sobre algún componente, obtendrá una puntuación de ±2 y se considerará moderado. Cuando el impacto tiene la capacidad de alterar

gravemente el entorno obtendrá una puntuación de ± 4 y se considerará fuerte. Es esta última categoría de impactos los que se consideran significativos y son los que debe abordar el Plan de Gestión Ambiental.

- *Vigilancia de la calidad del agua residual y de los productos agrícolas*

Un aspecto que ha recibido poca o ninguna atención de las autoridades y los responsables del tratamiento y uso de aguas residuales es la vigilancia de la calidad del vertimiento de la planta de tratamiento y de los productos irrigados con estas aguas. Este control de calidad es esencial para el manejo del impacto (real o potencial) del manejo de aguas residuales sobre la salud.

El control de calidad se debe enfocar en los parámetros relevantes para la salud: agentes infecciosos presentes en las aguas residuales y los productos agrícolas (bacterias patógenas y parásitos). En el componente de tratamiento, los puntos críticos son el ingreso del agua residual cruda y el vertimiento de la planta. A los responsables del tratamiento les corresponde el monitoreo de la calidad del agua residual en todo el proceso. El propósito del control de calidad en este componente del sistema integrado es garantizar la entrega de agua residual tratada con la calidad sanitaria y agronómica adecuada para el riego de los cultivos.

En el componente reúso, los puntos críticos son el control del sistema de riego, que incluye la infraestructura y las prácticas de riego, los productos a ser comercializados y las prácticas de poscosecha. El propósito de este control es garantizar la protección de la salud de los agricultores y consumidores de los productos regados con agua residual tratada.

- *Manejo de lodos y excedentes de agua*

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales produce lodos, cuyo volumen y composición varía de acuerdo con la fuente de agua residual y la tecnología de tratamiento. Si al sistema de recolección ingresan vertimientos diferentes a los domésticos (provenientes de actividades industriales, mineras o agrícolas, o del drenaje pluvial), la planta de tratamiento tendrá una determinada capacidad de retención y remoción de los compuestos que acarrean las aguas residuales, que dependerá de la tecnología aplicada. Estos compuestos removidos del agua residual se depositan en los lodos, los que deben ser adecuadamente estabilizados y dispuestos. Sin embargo, la rápida proliferación de sistemas de tratamiento de aguas residuales de diversa tecnología ha traído como consecuencia la generación de crecientes volúmenes de lodos que, en la mayoría de los casos, no reciben un adecuado tratamiento y están originando serios problemas ambientales y de salud pública.

El proyecto debe considerar un programa de manejo de lodos que incluya la estimación de los volúmenes generados en el tiempo, su estabilización en ambientes adecuados y su disposición final, sea en campos agrícolas o rellenos sanitarios.

Se pueden presentar excedentes de agua residual cuando las otras fuentes superan la demanda de los suelos agrícolas, por ejemplo, durante épocas de lluvia. En estos casos es necesario prever opciones para manejar el consecuente exceso de agua residual tratada, ya que no será utilizada para riego. Las opciones deberán considerar el volumen de agua residual en exceso y el tiempo que dure esta situación. Una buena alternativa es el almacenamiento en reservorios, donde incluso puede darse una etapa final de tratamiento antes de su uso en riego y ser aprovechado para la producción de peces.

- *Manejo de riesgos de accidentes y contingencias en el manejo del agua*

El tratamiento y uso de aguas residuales opera importantes volúmenes de agua, por lo que es necesario identificar y planificar el manejo de los riesgos asociados. Entre los más importantes se considera la estabilidad de las estructuras de la planta de tratamiento (especialmente si se trata de lagunas de estabilización), de los estanques de almacenamiento y de los canales de conducción y riego, que suelen construirse de tierra; y una sobrecarga imprevista de caudal en la planta o el sistema de riego. El manejo de estos riesgos y contingencias debe definirse adecuadamente y deben estar consignados en el Plan de Gestión Ambiental. También debe formar parte de la capacitación del personal a cargo del sistema de tratamiento y de la actividad agrícola.

4.3 Aspectos sociales

Los componentes sociales en los proyectos de sistemas integrados se incluyen para analizar las situaciones sociales de la región donde se realiza la experiencia. Se adoptará una visión articuladora que cubra la perspectiva cultural e institucional, con el fin de proponer alternativas de gestión que consideren la realidad de las poblaciones, regiones y organizaciones existentes para dirigir las estrategias y acciones al logro de los resultados esperados.

Para que la propuesta sea coherente con los propósitos de mejoramiento de la calidad de vida de los grupos humanos involucrados, hay que partir de un adecuado conocimiento de sus características y de las situaciones en las cuales se encuentran, así como de sus perspectivas de desarrollo sostenible.

Para la evaluación de los componentes sociales se requiere emplear una metodología de investigación participativa, que permita analizar los aspectos y factores en estudio desde experiencias diversas y enfoques multidisciplinarios y multisectoriales. El análisis puede sustentarse en información, estudios y documentos existentes en archivos y bibliografía nacional y regional.

Este proceso participativo con consultas a los diversos actores sustenta la aceptación futura de la propuesta, por lo cual debe diseñarse con miras a la futura incorporación de los sectores y grupos interesados.

Se sugiere emplear técnicas como las encuestas, entrevistas individuales semiestructuradas, talleres de planificación participativa, consultas de grupos focales, aplicación de la metodología FODA, entre otros.

4.3.1 Aspectos culturales

- *Identificación y características de los actores*

Se consideran actores a todos los grupos humanos, organizaciones e instituciones relacionados directa o indirectamente en las acciones previstas por el proyecto, tales como la población involucrada en la propuesta, las organizaciones comunitarias relacionadas, las instituciones nacionales reguladoras o ejecutoras, las instituciones regionales o locales, y las instituciones de apoyo y asesoría.

Se buscará identificar y caracterizar a la población e instituciones de la zona en estudio, principalmente a los involucrados directamente, ubicándolos en un marco local, regional y nacional. Para ello se emplearán los siguientes datos de referencia del contexto social, cultural, económico, organizacional, de infraestructura y servicios:

- Población total de la zona y la involucrada en el proyecto. Distribución por género, edad y características étnicas.
- Dinámica poblacional: crecimiento de la población, tasa de fecundidad, migraciones, natalidad, mortalidad, morbilidad, esperanza de vida al nacer (considerando diferencias de género, edad y etnia).
- Características de las familias: nucleares, extensas, porcentaje de mujeres jefas de familia, etc.
- Ingresos y actividad económica: PBI por habitante/año; PEA diferenciada por género y edad.
- Educación: porcentaje de alfabetización de adultos por género y etnia, porcentaje de matrícula combinada, primaria, secundaria y terciaria, diferenciado por género y etnia.
- Características de las relaciones y los roles de género en la comunidad. Equidad de género.
- Principales actividades productivas y de servicios de estos actores, diferenciación por ubicación campo-ciudad, género y edad.
- Servicios básicos comunitarios de agua y saneamiento.
- Infraestructura básica urbana y rural.
- Estado nutricional de la población.
- Servicios básicos de salud.
- Costumbres y tradiciones, derechos consuetudinarios que se practican.
- Formas de participación comunitaria.
- Formas de organización de la comunidad en general.
- Presencia de empresas y agrupaciones productivas o de servicios.
- Presencia de instituciones educativas y de investigación.
- Organizaciones de la sociedad civil.
- Entidades y autoridades nacionales, regionales y locales

- *Conocimiento de los actores acerca del tratamiento y uso de aguas residuales*

Es necesario conocer el nivel de conocimientos que tienen los diversos actores acerca del tratamiento y uso de aguas residuales, a fin de proponer acciones de capacitación y complementación que hagan posible que las personas e instituciones involucradas realicen un adecuado manejo de los procesos.

Para ello, se precisa indagar, al menos, en cinco grupos principales:

- la comunidad
- los dirigentes y líderes
- las autoridades
- los empresarios
- los académicos.

Los principales temas que requieren ser conocidos por los actores del proyecto son:

- Características de las aguas residuales urbanas y tipos de tratamiento
- Tratamiento para que las aguas residuales sean empleadas con fines productivos
- Manejo de aguas residuales con fines agrícolas, según tipo de cultivo
- Manejo de aguas residuales con otros fines productivos
- Consideraciones de gestión ambiental y de los recursos naturales
- Consideraciones sanitarias
- Técnicas agrícolas relacionadas con el uso de aguas residuales
- Relaciones entre el tratamiento y el reúso.

Los niveles requeridos por los diversos actores respecto del conocimiento de estos temas son diversos, por lo cual es importante realizar un sondeo diferenciado que permita saber el grado de información de cada uno de ellos y definir, en consecuencia, las necesidades futuras de divulgación, capacitación y asistencia técnica. Una vez observadas las necesidades, es preciso establecer las bases de un plan formativo para su ejecución en las diversas etapas del proyecto.

En los últimos años América Latina está viviendo el renacimiento de la metodología participativa de promoción y capacitación que, al involucrar a los agricultores desde el inicio del proceso, permite contar con su experiencia en el diseño del sistema integrado.

- *Nivel de aceptación del modelo integrado por parte de los actores*

Los actores pueden tener percepciones diversas de lo que significa un sistema integrado de tratamiento y uso productivo de aguas residuales. Estas percepciones, relacionadas con los riesgos potenciales, pueden conducir a la aceptación, a la indiferencia o al rechazo de las propuestas del proyecto.

Para lograr un buen nivel de aceptación, se precisa que los actores conozcan los riesgos, potencial y beneficios que implicaría la puesta en marcha de la propuesta. La percepción se convierte en disposición y ésta en aceptación cuando la información es clara y permite ver los diversos elementos de la situación. Se requiere conocer principalmente:

- La percepción de los diversos actores con respecto al sistema integrado (cómo lo entienden, qué opinan, qué actitudes tienen frente a la idea, etc.).
- Su disposición a formar parte de una experiencia relacionada (quieren participar, rehuyen el tema, son indiferentes).
- El nivel de aceptación que expresan (aceptan su inclusión en la propuesta, proponen alternativas, etc.).

4.3.2 Aspectos institucionales

- *Tenencia de la tierra*

Existen dos tipos de tierras que se requieren para el sistema: las que corresponden a las plantas de tratamiento y las que corresponden a la zona de uso productivo. En uno y otro caso se requiere conocer los siguientes aspectos para hacer viable y sostenible la propuesta del sistema:

- Tipo de propiedad o tenencia (estatal, privada, comunitaria, en uso, comodato)
- Situación física y legal de las propiedades
- Formas de gestión de las propiedades
- Existencia de conflictos actuales y potenciales
- Alternativas para la resolución de estos conflictos
- Alternativas para uso de otros terrenos en caso de no superar los conflictos.

- *Necesidades, intereses y relaciones de actores*

Determinar las necesidades, intereses y relaciones entre los actores relevantes resulta de vital importancia para lograr la incorporación de la propuesta en sus agendas de trabajo. Se clasificará a los actores por sus grupos organizados, incluidas las comunidades en general si sus necesidades e intereses surgen como elementos cruciales en el proyecto.

Esta clasificación es la base para elaborar el “mapa de actores”, en el cual se definan los principales grupos y entidades involucradas en el proyecto, sus necesidades e intereses, así como las relaciones que tienen con los demás actores. En este mapa se pueden visualizar las alianzas existentes y previsibles entre ellos, y también los conflictos actuales y potenciales.

En síntesis, este mapa debe incluir para cada actor:

- Su caracterización: miembros, funciones, alcance de sus funciones, tipo de organización.

- Sus necesidades: situación económica y social, principales problemas y requerimientos.
- Sus intereses: expectativas de desarrollo, orientaciones y fines, influencia social.
- Sus relaciones: trabajos conjuntos con otros grupos, articulación de acciones, enfoque participativo, apertura y flexibilidad.
- Las alianzas: convenios suscritos, nexos naturales con otros grupos, convergencia de fines y propósitos con otros.
- Los conflictos: contraposición de intereses, demandas insatisfechas, experiencias negativas, superposición de funciones.

La elaboración de este mapa clarificará la situación intersectorial e interinstitucional en la cual se enmarca la propuesta y aportará elementos clave para la definición de estrategias que permitan favorecer las alianzas, minimizar los conflictos y potenciar las sinergias entre los grupos. De allí surgirán líneas de concertación y pautas para la suscripción de acuerdos.

- *Organización comunal o privada de los agricultores*

Es fundamental conocer la existencia y características de la organización que los agricultores tienen en la zona del proyecto, ya que al estar directamente involucrados en el uso productivo de las aguas residuales tratadas, van a tener un papel destacado en el proceso y se convierten en un elemento crucial para el éxito de la propuesta.

En este sentido es preciso conocer:

- La existencia de una organización de los agricultores.
- El tipo de organizaciones existentes: regantes, productores, comercializadores, etc.
- El número de miembros y la cobertura en la zona del proyecto.
- Los mecanismos de trabajo de las organizaciones: elección de líderes, asignación de funciones, manejo del liderazgo, inclusión de mujeres en las asambleas y en calidad de dirigentes, relaciones entre grupos e instituciones, etc.
- Los niveles formativos de los dirigentes y de los asociados en temas de administración, financiamiento y gerencia.
- Las asociaciones secundarias.

- *Mecanismos de gestión del sistema integrado*

El sistema integrado requiere una gestión igualmente integrada. El modelo y los mecanismos que se definan deben diseñarse en función de la implementación y sostenibilidad de la propuesta.

Para ello se precisa diseñar un modelo de gestión que incluya:

- Una instancia que lidere y promueva el sistema con herramientas participativas y de coordinación.

- Manejo del componente de tratamiento de aguas residuales.
- Manejo del componente de uso productivo de las aguas residuales.
- Formas de articulación, coordinación, regulación, ordenamiento y convergencia de los dos componentes anteriores.
- Formas de incorporación de los componentes de gestión general: rol de las autoridades y de las instancias de cooperación y de investigación, etc.
- Una estrategia global de gestión del sistema integrado.
- Un plan de operaciones y cronograma correspondientes a la estrategia.
- Un plan de monitoreo, seguimiento y evaluación.
- Una estrategia para la inclusión de cambios en el plan de operaciones, acorde con los resultados de la evaluación.

Es importante señalar que el modelo de gestión y sus correspondientes mecanismos y estrategias tienen elementos clave que orientan el análisis de los factores técnicos, ambientales, económicos y sociales del proyecto. Entre estos últimos, el mapa de actores resulta de especial utilidad para diseñar una estrategia basada en el conocimiento de las interacciones, alianzas y conflictos potenciales.

4.4 Aspectos económicos

Entre los aspectos económicos se incluyen dos grupos:

4.4.1 Capacidades

En este grupo se consideran tres factores que determinan las capacidades de dos de los principales actores del modelo: la empresa de agua y saneamiento y los usuarios del sistema de tratamiento y uso de aguas residuales.

- *Capacidad de inversión, endeudamiento y operación de los responsables del sistema*

Para asumir la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales, las empresas de agua y saneamiento deben tener la solvencia necesaria para participar en el financiamiento de las obras necesarias y garantizar su operación.

Esta solvencia está determinada por la proporción de recursos disponibles (liquidez) con respecto a sus compromisos (pasivos), la capacidad de endeudamiento que el sistema financiero le asigna en función a su flujo de caja y al comportamiento en el pago de sus obligaciones.

Un breve análisis de los indicadores económicos y financieros con información recopilada de los estados financieros de la empresa de agua y saneamiento local permitirá tener una clara apreciación de estas capacidades.

- *Capacidad de pago de los usuarios y mecanismos de cobranza*

Un componente fundamental para la sostenibilidad de los sistemas integrados es la capacidad de pago de los usuarios, tanto del sistema de tratamiento (pobladores de las ciudades) como de las aguas residuales (agricultores).

La incorporación del tratamiento de las aguas residuales en la tarifa de los servicios que prestan las empresas de agua y saneamiento a los pobladores de las ciudades es un tema de enorme impacto social. En América Latina, pocos casos reportan la inclusión del servicio de tratamiento en las tarifas de las empresas de saneamiento. Dos de las principales razones son la falta de conocimiento y conciencia del poblador urbano acerca de su responsabilidad sobre el tratamiento de aguas residuales que genera y la real limitación para asumir un mayor costo de vida.

El proyecto debe estimar el costo del tratamiento y proponer su distribución entre los usuarios de la ciudad y los beneficiarios del riego. A favor de un cobro efectivo del servicio de tratamiento, las empresas de saneamiento cuentan con mecanismos eficientes de cobranza que incluyen la suspensión de los servicios (principalmente del abastecimiento de agua potable) en caso de deuda pendiente. En el caso del abastecimiento de aguas residuales tratadas, los mecanismos de cobranza pudieran ser similares.

- *Estrategia de financiamiento para el sistema integrado*

La estrategia ideal para el financiamiento de sistemas integrados demanda la evaluación de ambos componentes (tratamiento y uso agrícola) en forma conjunta. Si la entidad financiera considera el cumplimiento de los objetivos de salud pública y producción agrícola por separado, no hay forma de garantizar que la evaluación sea adecuada y positiva.

Cuadro 7. Características de las fuentes de financiamiento identificadas

Línea de crédito	1	2	3	4
Fuente de crédito (entidad crediticia)				
Monto (miles de US \$)				
Estructura deuda / capital (%) ⁽¹⁾				
Tasa de interés (%)				
Plazo de pago (años)				
Periodo de gracia (años)				
Tasa de riesgo (%) ⁽²⁾				

(1) La estructura deuda / capital se refiere al porcentaje de la inversión total financiada por la línea de crédito.

(2) La tasa de riesgo es un valor asignado para cada tipo de actividad (p.ej. agricultura, pesquería, minería) y normalmente es definida por el sector bancario de cada país.

Hasta donde el proyecto ha investigado, no existen precedentes de líneas de crédito a los sistemas integrados. Para ser elegible, una propuesta de sistema integrado debe subordinar uno de los componentes. En un primer caso, el sistema de tratamiento se entiende como un proceso de adecuación del agua para el riego agrícola y el sistema se evalúa con los criterios de selección de los proyectos agrícolas. En el otro caso, es la actividad agrícola la que se entiende anexa al sistema de tratamiento y representa una externalidad. En ningún caso se logra una valoración conjunta de los beneficios económicos de la integración de ambos componentes.

Los responsables de proyectos de sistemas integrados deberán informar a las entidades de crédito y cooperación acerca de la necesidad de efectuar una evaluación lo más adecuada posible de sus particulares características.

4.4.2 *Indicadores*

Entre los factores económicos y financieros determinantes de la viabilidad de los sistemas integrados se consideran:

- *Valoración económica de los impactos ambientales*

Los sistemas integrados representan impactos ambientales positivos y negativos de gran envergadura. La correcta valoración de estos impactos, en especial de los positivos, puede determinar una importante rentabilidad económica, que justifique la conveniencia de desarrollar el proyecto.

Los principales impactos ambientales que aportan beneficios económicos incluyen la reducción de enfermedades infecciosas, la reducción o eliminación de descargas contaminantes al ambiente, el incremento de la oferta de agua para riego, el incremento en la oferta de alimentos y empleo, y la conservación de áreas destinadas al tratamiento y cultivo.

Entre los principales impactos negativos se considera la pérdida de área de cultivo (en los casos que sea necesario instalar o ampliar el sistema de tratamiento en áreas de producción agrícola) y la ocupación de áreas potencialmente aptas para ser urbanizadas (si el sistema se instala en la ciudad).

- *Rentabilidad económica*

La rentabilidad económica es entendida como el balance (económico) entre los beneficios y costos sociales (económicos y ambientales) derivados de la implementación del proyecto en un contexto y plazo determinados.

La cuantificación de la rentabilidad económica se expresa principalmente a través del valor actual neto económico (VANE) y sus indicadores complementarios, la tasa interna de retorno económica (TIRE) y la relación beneficio/costo (B/C).

- *Rentabilidad financiera*

La rentabilidad financiera se entiende como la capacidad del proyecto para asumir la devolución de un préstamo otorgado en determinadas condiciones de crédito para su implementación y operación. Es decir, mide la capacidad del balance económico (diferencia entre los beneficios y costos económicos y ambientales) para el pago de una línea de crédito.

La cuantificación de la rentabilidad financiera se expresa principalmente a través del valor actual neto financiero (VANF) y sus indicadores complementarios, la tasa interna de retorno financiero (TIRF) y la relación beneficio-costos (B/C).

El cálculo de la rentabilidad financiera requiere considerar la existencia de financiamiento bajo condiciones específicas de plazo, tasas de interés y periodicidad de pagos. Determinados estos valores, pueden calcularse los indicadores de rentabilidad financiera del proyecto, como son el valor actual neto y la tasa interna de retorno. También se puede estimar la relación beneficio/costo.

- El valor actual neto financiero (VANF) es la sumatoria del capital propio y los valores del flujo financiero establecidos para cada uno de los 10 años del periodo de evaluación, actualizados al año 0. La ecuación para el VANF es la siguiente:

$$\text{VANF} = (\sum \text{VFAn}) + \text{CP}$$

En donde:

VFAn = Valor del flujo financiero actualizado del año “n” (miles EUA\$)

CP = Capital propio (miles de EUA\$)

n = cada uno de los 10 años del periodo de evaluación

Para actualizar los valores del flujo financiero se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{VFAn} = \text{VF}_n / (1 + \text{TD}/100)^n$$

En donde:

VF_n = Valor del flujo del año n

TD = Tasa de descuento

Para efectos del cálculo de la tasa de descuento (TD) es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{TD} = [(1 + \text{CEDC}/100) (1 + \text{R}/100) (1 + \text{INF}/100) - 1] \times 100$$

En donde:

CEDC = Costo de la estructura deuda/capital (%)
R = Tasa de riesgo (%)
INF = Tasa de inflación (%)

El costo de la estructura deuda/capital (CEDC) se calcula como sigue:

$$CEDC = [(INT/100 \times EDC/100) + (CCP/100 \times (1 - EDC/100))] \times 100$$

En donde:

INT = Tasa anual de interés del préstamo (%)
EDC = Estructura deuda/capital (%)
CCP = Costo anual del capital propio (%)

- Tasa interna de retorno financiera (TIRF):

La tasa interna de retorno financiera es la tasa de descuento en la que el valor actual neto financiero se torna nulo (cero). Este cálculo se realiza con relativa facilidad utilizando la fórmula integrada en el programa de EXCEL.

- Relación beneficio/costo (B/C)

La relación beneficio/costo se estima dividiendo la sumatoria de todos los ingresos actualizados al año 0 entre la sumatoria de todos los egresos actualizados al año 0 (VAN ingresos/Van egresos)

Cualquier información adicional que sea pertinente se podrá incluir en el análisis con una breve explicación.

- *Análisis de sensibilidad*

La evaluación de cambios en los indicadores de rentabilidad económica y financiera del proyecto como resultado de cambios en el contexto, permite identificar las variables particularmente sensibles del proyecto. Estas simulaciones resultan útiles para detectar fortalezas y debilidades del proyecto frente a cambios en el entorno y permite diseñar estrategias para contrarrestar sus efectos negativos o potenciar los positivos.

Las variables más utilizadas para efectuar los análisis de sensibilidad son los precios y el volumen de la demanda de los productos, los costos de los insumos y otros recursos, y los riesgos de contingencias.

5. Términos de referencia sugeridos para los estudios de viabilidad

Resumen del estudio

- *Justificación*
- *Breve descripción del área de estudio*
- *Breve descripción del sistema de tratamiento y uso existente*
- *Conclusiones del diagnóstico del área de estudio (FODA)*
- *Breve descripción de la propuesta del sistema integrado*
- *Indicadores de rentabilidad económica y financiera.*

Antecedentes y justificación

- *Situación de las aguas residuales en el nivel local y nacional*
- *Estudios realizados sobre el tema*
- *Justificación del Proyecto*
- *Objetivos, resultados e indicadores del Proyecto.*

Descripción general de la cuenca y del área del proyecto

- *Nombre y ubicación de la ciudad y la cuenca*
- *Tamaño y localización del área del proyecto*
- *Población urbana y rural de la cuenca*
- *Coberturas de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales*
- *Recursos naturales*
- *Actividades económicas*
- *Actividad agrícola de la cuenca y área del proyecto.*

Recursos de agua y tierra en el área del proyecto

- *Condiciones climáticas*
- *Extensión actual y potencial de tierras para la actividad agrícola*
- *Fisiografía y capacidad de uso de los suelos*
- *Recursos hídricos*
- *Balance hídrico: oferta, demanda y estacionalidad*
- *Disponibilidad efectiva de agua para el riego agrícola*
- *Calidad sanitaria y agronómica de las aguas de cada fuente.*

Marco legal

- *Marco regulador y normativo del ordenamiento ambiental (tenencia y tipo de uso)*
- *Normas vigentes de calidad para la disposición y uso de aguas residuales*

- *Derechos de uso de las aguas residuales tratadas*
- *Normas técnicas vigentes sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas*
- *Normas técnicas vigentes para el uso agrícola de aguas residuales domésticas.*

Plan agrícola del área de estudio

- *Actividades agrícolas actuales (áreas, productividad y nivel tecnológico)*
- *Integración entre la actividad agrícola y otras actividades*
- *Descripción del área de reúso existente (experiencia y técnicas agronómicas en el uso de este recurso)*
- *Diferencias de productividad, calidad y costos por el uso de aguas residuales*
- *Poscosecha y comercialización de los productos agrícolas*
- *Cultivos potenciales para el desarrollo agrícola y requerimientos para su manejo (agrícola, poscosecha y transformación)*
- *Mercado de los productos agrícolas actuales y potenciales: oferta, demanda y canales de comercialización*
- *Sistemas de riego imperantes*
- *Propuestas para el plan agrícola: selección de cultivos o rotaciones de cultivos y planes de siembra (áreas, calendario agrícola, producción)*
- *Sistema de riego propuesto*
- *Requerimientos hídricos del plan agrícola propuesto en cantidad y calidad*
- *Manejo agronómico de los cultivos involucrados*
- *Requerimientos técnicos, de administración y de asistencia técnica del plan agrícola y costos de producción*
- *Comercialización propuesta: precios, estacionalidad, modalidades, política de ventas*
- *Inversión e ingresos esperados.*

Tratamiento de las aguas residuales

- *Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas existente*
- *Política de la empresa de agua respecto al manejo de aguas residuales*
- *Sostenibilidad de la operación y mantenimiento de la planta (capacidad técnica y tarifas)*
- *Caracterización de las aguas residuales domésticas y disposición final*
- *Requerimientos de tratamiento para el reúso: cantidad y calidad sanitaria, ambiental y agronómica del agua residual*
- *Evaluación de las opciones tecnológicas para tratar las aguas residuales*
- *Elección de la tecnología y definición de la capacidad de tratamiento*
- *Localización y diseño de la planta para las opciones del plan agrícola*
- *Descripción de las fases del proceso de tratamiento propuesto*
- *Diseño de la planta: características físicas (planos general y detalles)*
- *Sistema de colección y distribución*
- *Requerimientos de maquinaria, equipo, mano de obra e insumos*
- *Metrado y presupuesto de construcción*

- *Plan de ejecución de la planta*
- *Inversión, costos de operación y mantenimiento, y gastos administrativos.*

Evaluación y plan de gestión ambiental

- *Identificación, descripción y valoración de los impactos significativos para el ambiente y la salud*
- *Riesgos de contingencias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (sobrecargas, pérdidas de capacidad y estabilidad de diques)*
- *Medidas para manejar los impactos ambientales negativos*
- *Plan de gestión ambiental*
- *Inversión y costos operativos para implementar el plan de gestión.*

Manejo de los aspectos sociales del proyecto

- *Identificación y características de los actores*
- *Conocimiento de los actores sobre el tratamiento y uso de aguas residuales*
- *Nivel de aceptación del modelo integrado por parte de los actores*
- *Condiciones de los productores y consumidores para aceptar el sistema integrado*
- *Tenencia de las tierras relacionadas con el sistema (para el tratamiento y el reúso)*
- *Necesidades, intereses y relaciones de los actores*
- *Organización comunal o privada de los agricultores*
- *Acciones para fortalecer una organización de los productores*
- *Modelo y mecanismos de gestión del sistema integrado: organización y administración de las unidades de tratamiento y agrícola*
- *Indicadores para el seguimiento y evaluación de los aspectos socioculturales, legales e institucionales*
- *Acuerdos entre actores y cronograma de ejecución de acuerdos y compromisos*
- *Plan de capacitación y asistencia técnica.*

Plan de implementación del proyecto

- *Cronograma de ejecución de acuerdos y compromisos*
- *Gestiones para el financiamiento*
- *Plan de ejecución de la planta*
- *Plan de desarrollo agrícola*
- *Plan de gestión ambiental*
- *Plan de capacitación y asistencia técnica*
- *Puesta en marcha*
- *Plan general de implementación.*

Evaluación económica y financiera

- *Análisis de la capacidad de pago de los usuarios del servicio de alcantarillado y mecanismos de cobranza*
- *Valoración económica de los impactos ambientales significativos*
- *Capacidad de inversión, endeudamiento y operación de la institución responsable del sistema integrado*
- *Análisis de las opciones de financiamiento: elección de las fuentes*
- *Estrategia de financiamiento para el sistema integrado (estructura y líneas de crédito)*
- *Inversión fija y capital de trabajo del proyecto. Cronograma de inversiones*
- *Estados financieros: pérdidas y ganancias, flujo de caja y punto de equilibrio*
- *Evaluación económica de las opciones de tratamiento y reúso*
- *Evaluación financiera*
- *Análisis de sensibilidad del proyecto (inversión, costos, precios)*
- *Selección y justificación de la mejor opción de tratamiento y uso.*

Conclusiones y recomendaciones.

6. Referencias para los estudios de viabilidad

Para facilitar la ejecución de los Estudios de Viabilidad, el Comité Técnico ha elaborado los siguientes materiales:

a. Términos de referencia para los Estudios de Viabilidad.

Es el principal documento de referencia, ya que establece los puntos que deberá desarrollar el Estudio de viabilidad.

b. Guía metodológica para el desarrollo de los diversos aspectos en los Estudios de Viabilidad.

Este documento permitirá facilitar la sistematización y procesamiento de la información incluida en cada punto estipulado en los términos de referencia. Describe brevemente el procedimiento que los ejecutores deberán tener en cuenta para desarrollar los siguientes temas:

- Plan agrícola del área de estudio
- Demanda y oferta de agua
- Tratamiento de las aguas residuales
- Evaluación y plan de gestión ambiental
- Estrategia para la viabilidad social del proyecto
- Evaluación económica y financiera.

Mayores referencias del Proyecto REÚSO pueden consultarse en la siguiente dirección electrónica:

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/proyecto.html>