



*Mecanismo Regulatorio y Económico para incorporar
Aspectos Medioambientales y de Gestión en Reforma
Tarifaria de Agua y saneamiento*

Colombia



Financiado por



Co-implementado por



Co-ejecutado por



El desarrollo del Mecanismo Regulatorio y Económico para incorporar Aspectos Medioambientales y de Gestión en Reforma Tarifaria de Agua y saneamiento” fue liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) bajo el Proyecto GEF CReW+.

El GEF CReW+ es un proyecto de asociación financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) que está siendo implementado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 18 países de la Región del Gran Caribe (RGC).

Este proyecto se basa en su anterior fase exitosa del proyecto “El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW)” (2011-2017). CReW+ está siendo ejecutado por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) y la Secretaría del Convenio de Cartagena (CAR/RCU) en nombre del BID y el PNUMA, respectivamente.

Los 18 países participantes en el CReW+ (Barbados, Belice, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Grenada, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Panamá, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, St. Vincent and the Grenadines, Surinam, Trinidad y Tobago) varían geográficamente, desde grandes países continentales hasta pequeños estados insulares con contextos políticos, lingüísticos y culturales significativamente diferentes.

Sobre el GEF: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) ha proveído de \$22 millones en donaciones y blended finance y ha movilizado cerca de \$120 billones en cofinanciamiento en más de 5200 proyectos y programas. El GEF es el fondo fiduciario más grande enfocado en permitir a países en desarrollo invertir en la naturaleza y apoya la implementación de convenios internacionales en biodiversidad, cambio climático, químicos y desertificación. Reúne 184 gobiernos, adicionalmente sociedad civil, organizaciones internacionales, sector privado y aliados.

Publicado por:	<i>Proyecto GEF CReW+ Implementando soluciones para la gestión integrada del agua y las aguas residuales para un Caribe limpio y saludable</i>
Autores:	<i>AKUT</i>
Diseño:	<i>Proyecto GEF CReW+</i>
Fecha:	<i>Junio 2023</i>
Encargado por:	<i>Grupo de Coordinación Inter-Agencial (IACG por sus siglas en Ingles)</i>

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los/as autores/as y no necesariamente reflejan los puntos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Convenio de Cartagena (CAR/RCU), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) o los países que representan.

El uso comercial no autorizado de los documentos está prohibido y puede ser sancionado según las políticas de las agencias y/o las leyes aplicables.

www.gefcrew.org

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL EQUIPO CONSULTOR	12
1.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN.....	12
1.2. INSTALACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO INTERINSTITUCIONAL	13
1.3. REUNIONES PRESENCIALES EN BOGOTÁ	13
1.4. PLAN DE TRABAJO DEFINITIVO	14
1.5. REUNIONES MENSUALES DEL GTI	15
1.6. MISIÓN DE TRABAJO AL CARIBE COLOMBIANO	15
1.7. IDENTIFICACIÓN Y DESARROLLO DE CAPACITACIONES	18
1.8. DOCUMENTO DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS Y NORMATIVIDAD RELACIONADAS CON EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES 31	
1.9. DOCUMENTO DE CONSIDERACIONES DEL REÚSO EN LA REGULACIÓN TARIFARIA: POSIBLES IMPACTOS DEL REÚSO Y PROPUESTA DE SEÑALES E INCENTIVOS REGULATORIOS.....	32
1.10. CONCEPTO DE ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y SOCIAL DEL PROYECTO DE REÚSO DE AGUAS RESIDUALES 33	
1.11. DOCUMENTOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	36
1.12. DESARROLLO DEL WEBINAR: EXPERIENCIA DE REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LATINOAMÉRICA	39
2. DIAGNÓSTICO DE EXPERIENCIAS NACIONALES DEL REÚSO	46
2.1. CASO ECOPEPETROL	47
2.2. CASO VALLE DEL CAUCA	48
2.3. CASO RÍO BOGOTÁ.....	49
2.4. CASO KARIBANA.....	50
2.5. CASO SERENA DEL MAR	51
2.6. COMPLEJOS HABITACIONALES EN BARRANQUILLA	51
2.7. OTRAS OPORTUNIDADES	52
3. SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN EL CARIBE COLOMBIANO.....	53
3.1. PRINCIPALES CULTIVOS AGRÍCOLAS	53
3.2. ACTIVIDAD PECUARIA BOVINA	54
3.3. PRODUCCIÓN DE PASTOS Y FORRAJES	55
3.4. EL PROBLEMA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA.....	57

3.5.	PRODUCTIVIDAD DE LOS FORRAJES SILO Y ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO.....	59
3.6.	COSTOS Y PRECIO DE MERCADO PECUARIO BOVINO	60
4.	SITUACIÓN DEL REÚSO EN COLOMBIA	62
4.1.	INFORMACIÓN SOBRE EL REÚSO EN COLOMBIA	62
4.2.	PERCEPCIÓN DEL REÚSO EN COLOMBIA	64
4.3.	LA CALIDAD SANITARIA REQUERIDA PARA EL REÚSO.....	67
5.	POTENCIAL DEL REÚSO EN LA REGIÓN CARIBEÑA DE COLOMBIA Y CASO SAN ANTERO.....	69
5.1.	EL REÚSO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA.....	70
5.2.	EL REÚSO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA.....	72
5.3.	NECESIDAD DE TRATAMIENTO ADICIONAL	76
5.4.	INFRAESTRUCTURA PARA EL REÚSO	78
5.5.	COSTOS ASOCIADOS	79
5.6.	BENEFICIOS.....	80
5.7.	ACTORES Y POSIBLES CLIENTES PARA EL REÚSO	81
6.	EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL REÚSO EN MONTERÍA	82
6.1.	PRINCIPALES CULTIVOS LOCALES	82
6.2.	CANTIDADES DISPONIBLES DE AGUA RESIDUAL.....	83
6.3.	ESTÁNDARES DE CALIDAD REQUERIDOS.....	84
6.4.	NECESIDADES DE TRATAMIENTO ADICIONAL	85
6.5.	INFRAESTRUCTURA PARA EL REÚSO	86
6.6.	COSTOS ASOCIADOS	86
6.7.	ACTORES RELEVANTES Y POSIBLES CLIENTES	87
7.	EVALUACIÓN DEL REÚSO EN CARTAGENA.....	89
7.1.	PRINCIPALES MODALIDADES DE REÚSO.....	89
7.2.	CANTIDADES DISPONIBLES Y USADAS DEL AGUA.....	91
7.3.	ESTÁNDARES DE CALIDAD REQUERIDOS.....	92
7.4.	NECESIDADES DE TRATAMIENTO ADICIONAL	92
7.5.	INFRAESTRUCTURA PARA EL REÚSO	93
7.6.	COSTOS ASOCIADOS	94
7.7.	PRECIO DE MERCADO.....	94
7.8.	INGRESOS POR TARIFA DE LOS PRESTADORES	95

7.9.	ACTORES RELEVANTES Y POSIBLES CLIENTES	96
8.	EVALUACIÓN DEL REÚSO EN BARRANQUILLA	97
8.1.	PRINCIPALES MODALIDADES DE REÚSO.....	97
8.2.	CANTIDADES DISPONIBLES DE AGUA	99
8.3.	ESTÁNDARES DE CALIDAD REQUERIDOS.....	100
8.4.	NECESIDADES DE TRATAMIENTO ADICIONAL	101
8.5.	INFRAESTRUCTURA PARA EL REÚSO	102
8.6.	COSTOS ASOCIADOS	103
8.7.	PRECIOS DE MERCADO	103
8.8.	INGRESOS POR TARIFA DE LOS PRESTADORES	104
8.9.	ACTORES RELEVANTES Y POSIBLES CLIENTES	105
9.	SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL REÚSO EN GENERAL.....	106
9.1.	INFORME FINAL DE LA CONSULTORÍA SOBRE REÚSO EN SAN ANTERO	106
9.2.	NORMAS SOBRE REÚSO	116
9.3.	REUNIONES Y VISITAS REALIZADAS EN EL VIAJE DEL 2 AL 6 DE MAYO	118
10.	SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN CÓRDOBA Y SAN ANTERO	124
10.1.	PRINCIPALES CULTIVOS AGRÍCOLAS	124
10.2.	ACTIVIDAD PECUARIA	125
10.3.	PRODUCCIÓN DE PASTOS Y FORRAJES	127
10.4.	PROBLEMA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA	128
10.5.	PRODUCTIVIDAD DE LOS FORRAJES SILO Y ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO.....	130
10.6.	COSTOS Y PRECIO DE MERCADO PECUARIO BOVINO	131
11.	PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROYECTO DE REÚSO DE SAN ANTERO	133
11.1.	CANTIDADES DISPONIBLES Y CONSUMIBLES DE AGUA RESIDUAL	133
11.2.	ACTIVIDADES POTENCIALES DE REÚSO	138
11.3.	ESTÁNDARES DE CALIDAD REQUERIDOS PARA EL REÚSO	138
11.4.	PLAN PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE REÚSO EN SAN ANTERO.....	139
11.5.	ETAPA PILOTO.....	141
11.6.	PRIMERA ETAPA DE DESARROLLO	142
11.7.	SEGUNDA ETAPA DE DESARROLLO	143
12.	PROYECTO PILOTO DE REÚSO EN SAN ANTERO.....	145

12.1.	OPCIONES RECOMENDADAS DE REÚSO	145
12.2.	REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	146
12.3.	ÁREAS ASIGNADAS PARA LOS TIPOS DE REÚSO SELECCIONADOS	149
12.4.	ACTORES INVOLUCRADOS	150
12.5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO PARA EL REÚSO	150
12.6.	INVERSIONES REQUERIDAS.....	155
13.	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DEL PROYECTO DE REÚSO EN SAN ANTERO	157
13.1.	BALANCE OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO.....	158
13.2.	MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	159
13.3.	CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO	163
13.4.	ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO A PRECIOS ECONÓMICOS.....	169
13.5.	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS DEL PROYECTO A PRECIOS ECONÓMICOS	173
13.6.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	176
13.7.	EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO	180
14.	SUGERENCIAS PARA LA GESTIÓN DEL PROYECTO DE REÚSO EN SAN ANTERO	182
14.1.	REHABILITACIÓN DE LA PTAR	182
14.2.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR	182
14.3.	ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS Y DEL ACUÍFERO DEMANDADOS POR LA NORMA	183
14.4.	TRAMITACIÓN DE LA CONCESIÓN DE AGUA PARA EL USO DE LAS AGUA RESIDUALES.....	184
14.5.	GESTIÓN DEL REÚSO EN EL PROYECTO COMPLETO.....	185
14.6.	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	185
14.7.	POSIBILIDADES DE RECAUDAR RECURSOS POR EL SERVICIO DE REÚSO.....	186
15.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
16.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193
17.	ANEXOS.....	198

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Resumen de reuniones de trabajo	16
Tabla 2:	Dimensiones y capacidades de las lagunas de la PTAR San Antero	35

Tabla 3: Programa del webinar “Experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica”	40
Tabla 4: Barreras y oportunidades para la implementación del reúso	43
Tabla 5: Inventario bovino en el Caribe Colombiano 2014	54
Tabla 6: Índice de presión sobre cuencas hídricas 2018	58
Tabla 7: Límites recomendados por la OMS para el reúso de las aguas residuales.....	100
Tabla 8: Dimensiones y capacidades de las lagunas de la PTAR San Antero	108
Tabla 9: Actividades y costos para la rehabilitación de la PTAR San Antero	109
Tabla 10: Componentes y costos sistema de riego del Proyecto Pilo de Reúso en San Antero	114
Tabla 11: Inventario de los tipos de actividad pecuaria en el Departamento de Córdoba	125
Tabla 12: Proyecciones de población y demanda de agua de San Antero y disponibilidad de agua residual en la PTAR	134
Tabla 13: Disponibilidad actual y proyectada de agua utilizable para el reúso.....	137
Tabla 14: Esquema tentativo de las Etapas del Proyecto Reúso San Antero	140
Tabla 15: Componentes del valor económico total	159
Tabla 16: Valor Económico total de la descontaminación de una fuente de agua.....	161
Tabla 17: Valor Parámetros para la Evaluación Económica - Colombia.....	164
Tabla 18: Asignación de costos por el reúso de efluentes de la PTAR.....	168
Tabla 19: Inversiones de Optimización de la PTAR a Precios de Mercado y Económicos	170
Tabla 20: Costos de Operación y Mantenimiento de la PTAR a Precios de Mercado y Económicos	170
Tabla 21: Inversiones del Sistema de Reúso y Riego a Precios de Mercado y Económicos	171
Tabla 22: Costos de Operación y Mantenimiento del Sistema de Reúso y Riego a Precios de Mercado y Económicos.....	171

Tabla 23: Parámetros Técnicos para la Evaluación Económica-Producción de Forrajes	174
Tabla 24: Parámetros Técnicos y económicos para la Evaluación Económica-Producción de Ganado.....	175
Tabla 25: Beneficio Neto Anual del Proyecto.....	175
Tabla 26: Evaluación del Proyecto a Precios Económicos (en US \$).....	176
Tabla 27: Estimación del Precio por M3 del agua reusada.....	178

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Opciones de reúso en el Proyecto de San Antero	22
Ilustración 2: Ejemplo de proceso de definición tarifaria.....	29
Ilustración 3: Síntesis de los impacto del reúso en los componentes tarifarios (grandes prestadores).....	29
Ilustración 4: Flyer del webinar “Experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica”	39
Ilustración 5: Zona agrícola propuesta para el Proyecto Piloto de Montería.....	83
Ilustración 6: PTAR San Antero	122
Ilustración 7: Visita de campo Departamento de Córdoba	127
Ilustración 8: Precipitación en San Antero, Colombia	129
Ilustración 9: Valor Económico total y métodos de valoración.....	161

ACRÓNIMOS

Andesco	Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAR	Corporaciones Autónomas Regionales
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
GIZ	Cooperación Alemana
GTI	Grupo de Trabajo Interinstitucional
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MVCT	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

INTRODUCCIÓN

El presente informe compila todos los documentos de avances del servicio de consultoría “Mecanismo regulatorio y económico para incorporar aspectos ambientales y de gestión en la reforma tarifaria de agua y saneamiento”.

El objetivo del servicio es *desarrollar un mecanismo regulatorio y económico para incorporar aspectos ambientales y de gestión territorial del agua/saneamiento dentro de la reforma tarifaria actualmente en marcha en Colombia, focalizando el reúso seguro y productivo de las aguas residuales.*

En este sentido, el informe tiene quince secciones. En la primera sección, se resume las principales actividades realizadas por el Equipo Consultor a lo largo del servicio; entre las cuales destacan, los documentos de política y regulatorio, las visitas de trabajo al caribe Colombiano, y el desarrollo de capacitaciones y un webinar. En la segunda sección, se presenta un diagnóstico de experiencias nacionales del reúso de aguas residuales; mientras que en la tercera, se detalla la situación de la actividad agropecuaria en el caribe Colombiano.

En la cuarta sección, se presenta la situación del reúso en Colombia; y en la quinta, se evalúa el potencial del reúso en la región caribeña de Colombia. En las secciones 6, 7 y 8 se realiza una evaluación del reúso en las ciudades de Montería, Cartagena y Barranquilla. En la novena sección, se realiza una síntesis de la información disponible

sobre el reúso en Colombia.

En la sección 10, 11 y 12, se presenta la situación de la actividad agropecuaria en Córdoba y San Antero, el planteamiento general del proyecto de reúso en San Antero, y un resumen del proyecto piloto de reúso; respectivamente. En la sección 13, se presenta la evaluación económica y social del proyecto de reúso en San Antero, que desde la perspectiva social el proyecto tendría impacto positivo en el empleo e ingresos de la población local. En la sección 14, se detalla algunas sugerencias para la gestión del proyecto de reúso en San Antero, y finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of blue and green, positioned at the top left of the page.

1. PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL EQUIPO CONSULTOR

A continuación, se describe brevemente las actividades desarrolladas por el Equipo Consultor durante el servicio, de acuerdo con lo establecido en los términos de referencia y en el plan de trabajo presentado.

1.1. Revisión de información

Respecto a esta actividad, en principio se revisaron diversos instrumentos de política colombianos relacionados con el reúso de aguas residuales y, por lo tanto, asociados con el enfoque de economía circular en el sector agua y saneamiento. Asimismo, se identificó el marco normativo vigente relacionado a las aguas residuales, con énfasis en el reúso de aguas residuales domésticas.

A fin de complementar el análisis del marco de políticas y normativo, también se revisó literatura internacional sobre la temática en cuestión, con énfasis en las barreras para la implementación del reúso en América Latina, y en general, a nivel mundial.

1.2. Instalación del Grupo de Trabajo Interinstitucional

El 03 de febrero de 2022, se procedió a la instalación del Grupo de Trabajo Interinstitucional para todo el proceso. Los participantes de esta sesión de instalación fueron los siguientes:

- Roberto Esmeral y Diego Polania (Expertos Comisionados), Juan Andrés Rojano, Guillermo Ibarra y Diana Marela Sabogal por la CRA;
- Carlos Augusto Sierra por el MVCT;
- Emma Salamanca (SINA), Ana Arriaga (DAMCRA), Yaisa Bejarano (OAI), por MADS. Los representantes de la DGIRH se excusaron por razones de urgencia pero comprometieron su presencia en las siguientes reuniones.
- Pedro Moreo, Daniela Araya y Marle Reyesce Salguero por PCG - CReW+.
- Katharina Schaaff (Costa Rica), Diana Garcia (Colombia), Paula Cespedes (Costa Rica) y Julio Montes (Costa Rica), por CReW+ - GIZ.
- Jesús Vidalón, Diego Fernández, Alfredo Montañez y Gabriela Salazar por Akut.

En la reunión se ratificó la realización de reuniones mensuales para la revisión de los avances en el trabajo y se estableció que la CRA sería la contraparte principal del proceso, interviniendo todas las entidades en los aspectos de su competencia.

1.3. Reuniones presenciales en Bogotá

Durante los días 21 al 25 de febrero se realizaron presenciales sostenidas con las entidades de contraparte. La primera reunión fue con la CRA (contraparte principal) el día 21/02 que tuvo como participantes a 02 Comisionados, el Subdirector de regulación y el equipo a cargo del desarrollo del nuevo marco tarifario.

Asimismo, con fecha 22/02 se realizaron reuniones con las contrapartes del MinAmbiente; en particular, con representantes de la DGIRH y el SINA; y con fecha 23.02 se realizó reunión con la contraparte del MinVivienda.

Las reuniones permitieron:

- Tomar conocimiento directo de la visión y expectativas de los actores fundamentales y asegurar su participación en el proceso, según competencias.
- Alcanzar un consenso sobre el enfoque y alcance del trabajo con la CRA, con perspectiva de Colombia.
- Lograr consenso sobre el tratamiento integral de la consultoría con PCG, BID y GIZ, sobre la base del caso colombiano, pero con mirada regional.
- Desarrollar el Plan Detallado de Trabajo ajustando el alcance y la programación a los resultados de las reuniones.
- Avanzar con análisis y discusiones respecto de: (i) Coherencia de políticas y (ii) Marco normativo, regulatorio e institucional.
- Obtener información sobre experiencias nacionales de reúso e información adicional para definición de casos piloto.
- Obtener información inicial sobre necesidades de capacitación.

1.4. Plan de Trabajo definitivo

El 8 de marzo, en reunión de GTI se realizó la presentación del plan de trabajo, el mismo que establecer las líneas de acción y el detalle y programación de las actividades específicas requeridas para desarrollar un mecanismo regulatorio y económico para incorporar aspectos ambientales y de gestión territorial del agua/saneamiento dentro de la reforma tarifaria actualmente en marcha, focalizando en el reúso seguro y productivo de aguas residuales.

Los comentarios al Plan se recibieron e incorporaron quedando aprobado con fecha 14 de marzo de 2022.

El Plan se desarrolló en el marco de lo establecido en los términos de referencia y toma en cuenta los resultados de las reuniones presenciales realizadas por el equipo consultor con la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico - CRA, como contraparte principal, y las entidades integrantes del Grupo de Trabajo Interinstitucional - GTI, durante la misión de trabajo del equipo consultor desarrollada entre los días 21 y 25 de febrero de 2022.

Las acciones del plan están orientadas principalmente a generar insumos sobre las señales ambientales para el próximo marco tarifario, considerando la normatividad vigente y teniendo como marco los objetivos de política de economía circular y los compromisos de manejo de aguas residuales.

Asimismo, se incluyen acciones requeridas para desarrollar un enfoque regional y cumplir los objetivos de mayor alcance del proyecto GEF CReW+.

1.5. Reuniones mensuales del GTI

Luego de las reuniones iniciales, la reunión de instalación del GTI, y la reunión para la presentación del Plan de Trabajo, se iniciaron las reuniones mensuales.

1.6. Misión de trabajo al Caribe Colombiano

Entre el 02 y el 06 de mayo de 2022, se realizó una misión de trabajo a las ciudades de Montería, San Antero, Cartagena y Barranquilla.

Un resumen de las reuniones efectuadas se presenta en la siguiente tabla. Las principales conclusiones generales han sido expuestas en las reuniones de trabajo

del GTI de 12 de mayo y el 07 de junio de 2022, siendo en general la perspectiva favorable.

Tabla 1: Resumen de reuniones de trabajo

Lugar	Fecha	Contrapartes en reuniones	Resultados
Montería	02.05.2022	<ul style="list-style-type: none"> • CVS • Veolia-Aguas de Montería 	<ul style="list-style-type: none"> • CVS ofrece apoyo e información. • Aguas de Montería se compromete con reúso y ofrece importante proyecto piloto a partir de una de sus PTAR (PTAR Nor Oriental).
San Antero	02.05.2022-03.05.2022	<ul style="list-style-type: none"> • Aqualia (prestador de San Antero), en local de Cereté • Municipalidad de San Antero • Dirigentes comunitarios (potenciales reusantes) • Visita a Lagunas 	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad comprometida con el Proyecto y con la promoción del reúso. • Dirigentes comunitarios conocen el tema del reúso y están comprometidos con el proyecto.
Cartagena	04.05.2022	<ul style="list-style-type: none"> • Cardique • Acuacar • Novus Civitas (empresa gestora de Serena del Mar) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cardique comprometida con el reúso, ofrece apoyo e información. • Aguas de Cartagena comprometida con el reúso (ya tiene reúso en proyecto Karibaná y en negociaciones con Serena del Mar), ofrece apoyo e

Lugar	Fecha	Contrapartes en reuniones	Resultados
			<p>información.</p> <ul style="list-style-type: none"> Novus Civita, comprometida con el reúso, ofrece información sobre reúso en PTARs propias y próximo reúso con aguas residuales domesticas provistas por Acuacar.
Barranquilla	05.05.2022	<ul style="list-style-type: none"> Corporación del Atlántico Triple A Visita a Estación de Depuración El Pueblo (potencial de reúso) 	<ul style="list-style-type: none"> CAR del Atlántico comprometida con el reúso. Presenta consultas y requerimientos de precisión a la normatividad. Triple A comprometida con el reúso (aunque considera que hay limitaciones en su ámbito). Potencial de reúso a partir de una PTAR (El Pueblo). Reúso difundido en alrededor de 40 proyectos inmobiliarios de escala media.

Fuente: Elaboración propia

1.7. Identificación y desarrollo de capacitaciones

Sobre la base de fuentes secundarias; la opinión recogida en las reuniones presenciales, y el análisis del equipo consultor, se identificaron necesidades de capacitación para las entidades de contraparte de Colombia, a efectos de promover de manera efectiva la implementación del reúso de aguas residuales. En particular, inicialmente se plantearon 02 aspectos en los que es necesario desarrollar actividades de capacitación.

1.7.1. Propuesta de Capacitación 01: Seminario internacional de experiencias de reúso de aguas residuales

Aunque hay claridad en las políticas nacionales orientadas a promover la economía circular, la gestión integrada y eficiente de los recursos hídricos y el reúso de aguas residuales, el nivel de desarrollo alcanzado es aún incipiente, siendo necesaria una fuerte capacitación integral y transversal a los funcionarios y profesionales de las diversas entidades, así como un proceso de información y concientización a la población. Los factores culturales y de falta de información tanto en los potenciales reusantes agrícolas como en los consumidores de los productos y las propias autoridades y funcionarios constituyen barreras importantes para el proceso de implantación.

A fin de fortalecer las capacidades generales de las entidades involucradas en el reúso de aguas residuales en Colombia, se considera oportuno realizar un seminario en donde se exponga las experiencias de los países con mayor desarrollo en la temática, que de manera preliminar serían México, Israel y Argentina, siendo relevante también la experiencia de Perú por algunas consideraciones particulares.

Este seminario debe abarcar todos los aspectos requeridos para una acción integrada en el reúso de aguas residuales: técnicos, legales, económicos, ambientales, normativos, sanitarios, entre otros.

Tentativamente, se prevé que el seminario se realice en el mes de julio, sujeto a la disponibilidad de los expositores y a la de los asistentes (CRA, MADs, MVCT, Andesco, ASOCARS, Autoridades Ambientales de áreas especialmente identificadas, entre otros).

Será fundamental garantizar la participación efectiva de las entidades a efectos de aprovechar de la mejor manera la información y experiencias de otros países.

1.7.2. Propuesta de Capacitación 02: Evaluación social de proyectos de reúso de aguas residuales tratadas

En general, y especialmente en contextos de escasez general o estacional de recursos hídricos, el reúso de aguas residuales tiene un alto beneficio para la sociedad lo que justifica una intervención activa de los estados previendo recursos propios y de diversas fuentes de financiamiento para contribuir a hacer realidad los proyectos. Los costos evitados en infraestructura y operación, la liberación de agua de fuente natural, los beneficios ambientales, además de los beneficios propios de las actividades en las que se reúsan las aguas residuales determinan una incuestionable rentabilidad social.

Con la finalidad de visibilizar los amplios beneficios sociales de los proyectos de reúso de aguas residuales, se propone realizar una capacitación en donde se exponga, de manera teórica, la evaluación social de proyectos de reúso enfatizando los posibles beneficios sociales. De esta manera, los asistentes internalizarían la importancia del uso de recursos públicos en proyectos de reúso sobre la base de la determinación de los beneficios para la sociedad colombiana. Al igual que el caso anterior, se prevé que la capacitación se realice en el mes de julio, de manera que vaya en línea con los resultados del "Estudio de viabilidad de los casos específicos" (Etapa II d de la presente consultoría).

Lo anterior no debe interpretarse como una recomendación de la inclusión de la evaluación social en todos los proyectos de reúso, aspecto que por el contrario podría constituir una barrera dada la complejidad de esta evaluación y de las metodologías que

deben usarse. El objetivo es demostrar que en general, y en particular en circunstancias críticas respecto de la disponibilidad del recurso hídrico, el impacto de los proyectos de reúso de aguas residuales justificará la intervención pública a nivel de promoción, estudios e incluso inversión.

1.7.3. Desarrollo de capacitaciones en materia de reúso de aguas residuales en el Caribe Colombiano

En esta sección, se resume las capacitaciones realizadas sobre el reúso de aguas residuales en el Caribe Colombiano. En lo que respecta al potencial de reúso, la capacitación se realizó el 07 de julio del año 2022 siendo el público objetivo los profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).

En cuanto al aspecto regulatorio y tarifario, las capacitaciones se realizaron el 15 de junio del año 2022. Particularmente, se realizó la presentación de sistemas tarifarios para reúso, y posibles impactos tarifarios del reúso de aguas residuales. A continuación, se sintetiza los principales hallazgos de las capacitaciones.

Potencial de reúso de aguas residuales en el Caribe Colombiano

Con fecha 07/07/2022 se realizó la presentación del potencial de reúso de aguas residuales en el Caribe Colombiano, a cargo del Ing. Julio Moscoso siendo el público objetivo los profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).

El especialista comienza indicando las diferencias del enfoque de economía lineal y circular. En efecto, en los últimos años se está intentando abarcar un enfoque de economía circular, para convertir los residuos en recursos; sin embargo, menciona que varios países de Latinoamérica todavía se mantiene un enfoque de economía lineal.

En cuanto a la situación del reúso en Colombia, se menciona lo siguiente:

- Son limitadas las experiencias de reúso en Colombia, tales como las promovidas

por CINARA de la Universidad del Valle.

- El balance hídrico positivo del país no alienta el reúso, pero se debe tener presente que existen regiones más secas como La Guajira.
- Más importante aún es tener en cuenta las variaciones estacionales, que en la época seca limita las actividades agrícolas y pecuarias por varios meses, como ocurre en el Caribe Colombiano.
- Existe temor natural de contaminar los productos, suelos y acuíferos con el uso de aguas residuales. Estos aspectos se deberían evaluar y demostrar mediante casos piloto.
- Aun no se han evaluado los beneficios del riego agrícola, forestal y de áreas verdes, con aguas residuales, generados por el contenido de nutrientes que reduce las necesidades de fertilización química, insumos actualmente costosos y escasos.

Respecto a la calidad sanitaria requerida para el reúso, la norma 1256 indica que se debe cumplir con el Decreto 1076, que si establece concentraciones de 5,000 coliformes totales/100 ml y 1,000 coliformes termo tolerantes/100 ml para el riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. Para el resto de los cultivos no aplica.

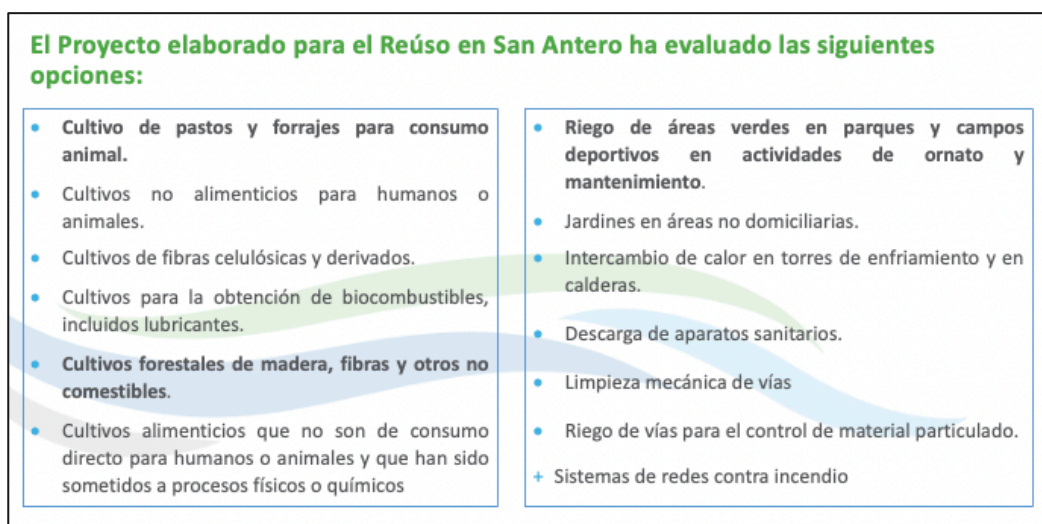
Asimismo, se indica que las directrices de la OMS de 1989 y 2006 proponen una serie de requisitos de calidad en reúso de aguas residuales domésticas para proteger la salud pública de usuarios y consumidores. Destaca los helmintos como principal riesgo y los coliformes termo tolerantes como indicadores de bacterias y virus patógenos. Este tema debe ser analizado con las autoridades del sector salud.

Por otro lado, la norma incluye parámetros físico-químicos que, si se descarga puede afectar la calidad del cuerpos receptor y suelo, destacando los límites de DBO y DQO que sí son importantes para esos fines. Sin embargo en el caso de reúso agrícola es

preferible que el contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo no se limite, ya que al igual que los fertilizantes, se deberán aplicar según las exigencias de cada caso, lo que recomienda evaluar más adelante.

En cuanto a las opciones de reúso de las aguas residuales en el Proyecto de San Antero, se comenta lo siguiente:

Ilustración 1: Opciones de reúso en el Proyecto de San Antero



Fuente: Elaboración propia

En el caso de reúso en la actividad agrícola y ganadera, se menciona que la región caribeña de Colombia se caracteriza por tener una época seca muy crítica, que obliga a los ganaderos a vender sus animales por falta de pastura. En casos como San Antero, el municipio destina anualmente 200 millones de pesos (US\$ 50,000) para adquirir 400 TM de forraje de silo y que entrega a los ganaderos para alimentar a sus animales en la época seca.

En este sentido, el reúso de las aguas residuales permitirá mantener los pastizales en la época seca y producir forrajes de silo para atender necesidades de alimentación del ganado en esa época. Esta práctica se puede maximizar si se almacena agua residual tratada en la época de lluvias y que luego sería utilizada en la época seca, tal como lo

hace Israel.

Es importante señalar que la productividad del cultivo de forraje de silo depende del clima, la fertilidad del suelo, la especie de forraje y la densidad de la plantación. En la mayoría de los suelos se cultivan densidades de 64,000 a 81,000 plantas por hectárea. Poblaciones de plantas más altas que este rango serían factibles solo para los suelos más productivos. Las aguas residuales permiten elevar significativamente la fertilidad de los suelos.

En el caso de reúso para riego de áreas verdes, se comenta que es una práctica que está ganando espacio en los últimos años a nivel global, principalmente en las grandes ciudades que utilizan otras fuentes de agua requeridas para el abastecimiento doméstico, comercial e industrial, o más aún, sustituyendo el uso del agua potable que debe ser destinada para tales fines.

Las principales ciudades del Caribe Colombiano están rodeadas por áreas verdes y boscosas que les ofrecen un ambiente paisajístico muy agradable, pero ellas también poseen otras áreas verdes dentro del casco urbano, tales como parques, jardines y bermas centrales de las avenidas, y que en la estación seca deben ser regadas. En casos como Cartagena, estos ambientes son regados con agua potable. Aun cuando la oferta de agua potable en esta ciudad sea mayor que la demanda, no se justifica utilizar este recurso, ya que ha sido tratado para el uso doméstico y comercial y por ello tiene un mayor costo que otras fuentes.

También es importante el desarrollo de áreas forestales que brinden servicios de protección y recreación a las ciudades, especialmente ubicadas en zonas áridas, y que pueden ser atendidas con las aguas residuales de la misma ciudad. El caso más emblemático en Colombia es el Proyecto Serena del Mar, un desarrollo urbano integral de 1,000 ha, localizado al norte de Cartagena, que contempla solo 300 ha para el desarrollo inmobiliario y las otras 700 ha constituyen áreas verdes y lagunas naturales

que deberán ser mantenidas con las aguas residuales tratadas generadas por esa nueva zona urbana.

A partir de la revisión, el especialista comenta que experiencias a escala piloto del reúso de las aguas residuales en las actividades más viables permitirán mostrar a los diferentes actores que es posible hacer un reúso seguro y productivo. Concretamente permitirá:

- Demostrar los beneficios del uso de las aguas residuales, al ofrecer un abastecimiento seguro y permanente, así como el aporte de nutrientes que sustituyan gran parte de la fertilización química, ahora tan escasa y costosa a nivel global.
- Identificar los riesgos que podrían generar estas prácticas e identificar las medidas de control para evitar impactos negativos en la salud y el medio ambiente.
- Evaluar los resultados de estas experiencias para sustentar mejor una normatividad mejor ajustada a la realidad local y a cada tipo de reúso.
- Valorizar el recurso agua residual hasta lograr establecer una retribución por el servicio de tratamiento, que sería propuesto a los usuarios que busquen beneficios económicos atractivos en sus negocios de reúso.
- Lograr que las empresas operadoras se muestren más dispuestas a ofertar este recurso, para contar con ingresos económicos adicionales, que por lo menos financien parcialmente una buena operación y mantenimiento de las PTAR.

Asimismo, se deberá implementar un programa de capacitación para los agricultores, ganaderos y otros usuarios, con el objetivo de que aprendan a manejar esta práctica del reúso en forma eficiente y segura. Por último, será necesario que estas experiencias exitosas se difundan con mucha intensidad, con el propósito de que actores similares de otros lugares puedan asumir esta nueva fuente alternativa de agua para el riego para sus parcelas agrícolas y pecuarias, así como las áreas verdes urbanas y nuevas

zonas de forestación.

Finalmente, como recomendaciones finales se plantea lo siguiente:

- Desarrollar proyectos piloto, como el planeado en San Antero, que permitirán evaluar y promover un reúso seguro y productivo, ya que la gente del campo solo replica lo que puede observar que verdaderamente es exitoso.
- Buscar la precisión de algunos aspectos de la normatividad, mediante instrumentos complementarios como reglamentos y guías, que permitirán formalizar el reúso existente y promover efectivamente una mayor cantidad de nuevas experiencias viables.
- Capacitar los actores, tarea clave para asegurar que las nuevas experiencias se realicen en forma satisfactoria. De esta forma:
 - Las autoridades ambientales podrán evaluar y acompañar mejor las experiencias propuestas.
 - Las empresas operadoras podrán asumir mejor sus compromisos de tratar adecuadamente las aguas residuales para el reúso.
 - Los usuarios comprenderán mejor los beneficios que les otorga el reúso, a la vez de aprender a manejar adecuadamente los riesgos inherentes a esta práctica.

Sistemas tarifarios y posibles impactos para reúso de aguas residuales

Con fecha 15/06/2022 se realizó la presentación de sistemas tarifarios para reúso de aguas residuales a cargo de Ing. Jesús Vidalón, y la presentación de los posibles impactos tarifarios del reúso de aguas residuales, a cargo del Econ. Diego Fernández. A continuación, se sintetiza los resultados.

Sistemas tarifarios para reúso de aguas residuales

El especialista comienza indicando que los beneficios en el uso de las aguas residuales, diferenciando los actores involucrados en el proceso: i) sociedad, ii) empresa o entidad que desarrolla el proyecto, y iii) usuario receptor.

En cuanto a los beneficios sociales del reúso, se comenta lo siguiente:

- Beneficios ambientales y en salud incrementales.
- Beneficios por liberación de agua fresca (en zonas de escasez son muy altos por costos evitados en presas, trasvases o extracción de agua subterránea).
- Ahorro en el costo del fertilizante (nutrientes) y, en algunos casos, en el tratamiento de las aguas residuales.
- Beneficios asociados a la nueva producción (incremento de áreas de cultivo, incremento de producción en general).
- Mayor confiabilidad en el suministro de las aguas residuales (suministro constante y permanente todo el año).
- Beneficios por aprovechamiento de subproductos (lodos, gas).
- Respecto a los costos económicos y sociales del reúso, se comenta lo siguiente:
 - Costos adicionales de inversión para el tratamiento de las aguas residuales (directos).
 - Costos adicionales de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento (directos).
 - Instalación de nueva infraestructura para la distribución del agua (directos).
 - Costos de medidas de reducción de riesgos para la salud pública por el uso de aguas residuales (directos).
 - Costos asociados a nuevas áreas de cultivo o nueva producción.
 - Costos ambientales debido a la derivación o reducción del caudal del agua.

- Se estiman sobre la base de los flujos de costos a precios de mercado, ajustados por los factores de corrección: divisa, mano de obra, entre otros.
- + Por otro lado, se describe los componentes de tarifas de reúso. En el proceso, se debe considerar la inversión en tratamiento adicional, los costos de operación y mantenimiento (O&M) adicional, la inversiones y la O&M del almacenamiento, bombeo y conducción, y los costos de administración y comercialización del agua residual.
- + En particular, se diferencia entre 02 enfoques de tarifas: i) Costo del servicio y ii) Mercado. En el enfoque de costo de servicio no se cobra por el recurso per se, sino por los costos asociados al servicio. No obstante, en muchos casos no es posible recuperar el total de los costos, por lo que será necesario evaluar diversas alternativas como el cofinanciamiento (público, usuarios del servicio de alcantarillado, otros).
- + En el enfoque de mercado, se utiliza la valoración por uso que considera la rentabilidad de la actividad en la que se usa el agua residual (tratada y sin tratar). Si se entrega sin tratar, los usuarios receptores deben realizar las inversiones y asumir los costos de operación y mantenimiento para su tratamiento y reúso. Esto genera costos evitados de inversión, operación, disposición final.
- + Asimismo, este enfoque puede permitir captar al menos parcialmente valor intrínseco del recurso (escasez, nutrientes, entre otros), y se puede efectuar procedimientos de mercado (subastas, licitaciones).
- + Para ambos casos, se presentan casos prácticos a fin de que los participantes comprendan la diferencia de ambos enfoques.
- + Finalmente, se menciona otros enfoques de tarifas como distribución de todos los costos entre todos los reusantes, incremento de la oferta de agua y asignación de responsabilidades por volumen, porcentaje del precio del agua potable, y precio del

agua potable.

Posibles impactos tarifarios de reúso de agua residuales

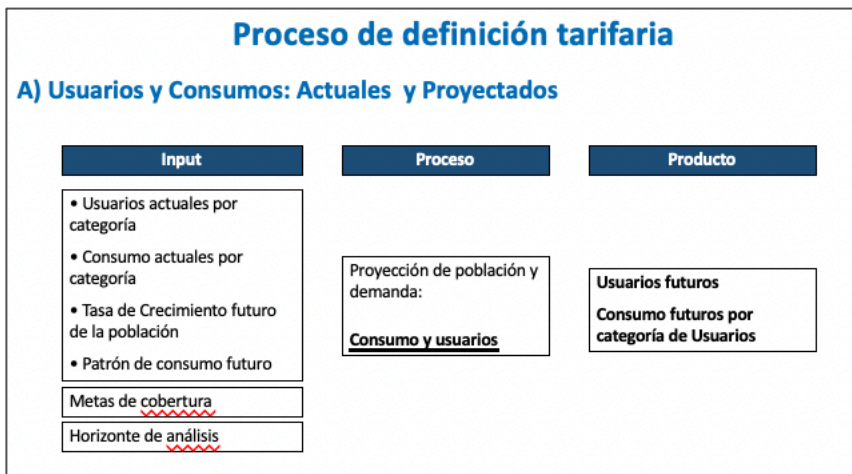
El especialista comienza indicando que las características económicas, técnica y políticas de los servicios de agua potable y saneamiento. Es un monopolio natural, sin sustitutos, y es mejor que exista un solo productor local.

Asimismo, es un bien meritorio, pues genera altas externalidad en salud y medio ambiente; además de ser indispensable para la forma de organización social (ciudades) y el desarrollo. En efecto, de acuerdo con la Política Nacional de Acceso Universal y Derecho Humano, todos los habitantes deben tener acceso a los servicios de agua potable y saneamiento. A continuación, se mencionan otras características relevantes:

- En agua y alcantarillado existen “plantas administrativas y técnicas mínimas”, que pueden no ser costeables por sistemas menores de 2.500 usuarios (aproximadamente).
- Se estima que se logran economías de escala hasta un número de usuarios del orden de los 100.000 - 150.000 usuarios (400.000 - 600.000 habitantes).
- En localidades menores puede ser mejor que el prestador no sea local sino que tenga cubrimiento regional.
- Entre mayor “tamaño” tiene el productor, mejores son sus posibilidades de acceso a insumos, al sistema de crediticio (y al sistema político).

En cuanto al proceso de definición tarifaria, se menciona los inputs, procesos y producto por cada uno de los siguientes ítems: i) usuarios y consumo: actuales y proyectados, ii) proyección de costos, iii) determinación de la tasa de descuento, iv) ingresos requeridos, v) tarifas, vi) incentivos para un mejor servicio.

Ilustración 2: Ejemplo de proceso de definición tarifaria



Fuente: Elaboración propia

Respecto a las consideraciones iniciales de reúso, se debe tener en donde se requiere la entrega de las aguas residuales (antes o después de la PTAR), y cómo se requiere la entrega de las aguas residuales (en su nivel actual de tratamiento, o con tratamiento adicional -a cargo del prestador o del usuario receptor).

Con estas consideraciones, se explica el impacto del reúso en los componentes tarifarios, en el caso de los grandes prestadores. En la siguiente ilustración, se presenta una síntesis de los impactos.

Ilustración 3: Síntesis de los impacto del reúso en los componentes tarifarios (grandes prestadores)

	Ubicación de entrega		Tratamiento adicional	
	Antes de la PTAR	Después de la PTAR	A cargo del generador	A cargo del receptor
CMA	+ Aumentan costos	+ Aumentan costos	+ Aumentan costos	+ Aumentan costos
CMO	- Disminuye costos	= Sin efecto	+ Aumentan costos	= Sin efecto
CMI	- Disminuye costos	= Sin efecto	+ Aumentan costos	= Sin efecto

Fuente: Elaboración propia

A fin de impulsar el reúso, es importante incorporar señales e incentivos en el marco tarifario para el reúso de las aguas residuales. Por el lado de las señales regulatorias, se debe establecer la obligación de los prestadores de registrar en la contabilidad, los costos de reúso, de manera separada. Además, no se debe permitir la inclusión de los costos de reúso a los componentes del CMA, CMO y CMI.

Por el lado de los incentivos al reúso, en el aspecto de la repartición de los beneficios del reúso se debe permitir al prestador retener parte de los ahorros en costos que genere el reúso (menores costos de operación), y posibilitar que se resten a los costos del servicio de alcantarillado los ingresos generados por el reúso (aprovechamiento de rentas del reúso).

En el aspecto de reglamentación de otra causal de modificación del Plan de inversiones, se debe reglamentar que los prestadores puedan modificar el POIR del servicio de alcantarillado, condicionado a variaciones en los montos futuros de inversión, originados por la destinación total o parcial de las aguas residuales a la actividad de reúso.

Finalmente, en el aspecto de creación de la categoría "prestadores del servicio de tratamiento de aguas residuales", se plantea lo siguiente:

- Reglamentar la posibilidad de existencia de prestadores del servicio de tratamiento de aguas residuales.
- Definir las fórmulas tarifarias para el cálculo de un CMA, CMO y CMI del servicio de tratamiento de aguas residuales.
- Reglamentar un modelo de cobro de las tarifas de tratamiento de aguas residuales a los usuarios.

+

1.8. Documento de análisis de políticas y normatividad relacionadas con el reúso de aguas residuales

A partir de la revisión de instrumentos de políticas y normativa Colombia sobre el reúso de aguas residuales, así como la información y puntos de vista recogidos en las reuniones presenciales y las discusiones en el marco del GTI, se elaboró el documento *"Análisis de políticas y normatividad relacionada con el reúso de aguas"*, que fue remitido a los integrantes del GTI y, en especial, a la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico - CRA para su revisión, comentarios, observaciones, correcciones y/o aportes.

En este documento se identifican y mapean las políticas y normas relacionadas con el reúso de aguas residuales tratadas, y se realiza un análisis de sus implicaciones, alcances, posibilidades y limitaciones para incentivar el reúso de aguas residuales en Colombia.

El documento cuenta con cuatro secciones. En la primera sección se presenta un marco general sobre el reúso de aguas residuales y las barreras para su implementación. En la segunda sección se describe las políticas relevantes para el caso colombiano, analizando políticas generales de desarrollo, políticas ambientales, de gestión de recursos hídricos y políticas sectoriales.

En la tercera sección se desarrolla el marco normativo considerando los aspectos más relevantes del tema en evaluación. Este análisis parte del tratamiento legal de cada aspecto en el caso colombiano, determina preliminarmente las consideraciones para tener en cuenta en el marco regulatorio, efectúa un breve análisis del tratamiento de cada tema en otros países y establece algunas conclusiones iniciales.

Finalmente, en la cuarta sección se presenta, a manera de resumen, el análisis de la

coherencia política y las posibilidades de armonización de las políticas y normas.

El documento se adjunta como anexo al presente informe, en formato Word.

1.9. Documento de consideraciones del reúso en la regulación tarifaria: Posibles impactos del reúso y propuesta de señales e incentivos regulatorios

Durante el mes de mayo concluyó la preparación del Documento "*Consideraciones del reúso en la regulación tarifaria: Posibles impactos del reúso y propuesta de señales e incentivos regulatorios*". Este que fue remitido a los integrantes del GTI y, en especial, a la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico - CRA para su revisión, comentarios, observaciones, correcciones y/o aportes. En particular, se realizó un taller con la CRA el 26 de abril de 2022.

En este documento se establecen posibles efectos del reúso de las aguas residuales en los componentes de la estructura tarifaria de los servicios públicos domiciliarios que se encuentra vigente (CMA, CMO, CMI) que ha establecido la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) en Colombia, además de exponer propuestas de señales e incentivos a la actividad del reúso desde las competencias de la CRA.

El documento cuenta con seis secciones. En la primera sección se resume la evolución del marco tarifario del sector en Colombia desde 1994 hasta la actualidad. En la segunda, se realiza un análisis del marco tarifario vigente y sus implicaciones; y en la tercera, se resume las bases quinquenales para el nuevo marco tarifario y lineamiento para el reúso.

En la cuarta sección se identifican algunas consideraciones a tomar en cuenta para el

diseño de un marco regulatorio que promueva el reúso de las aguas residuales. A partir de estas consideraciones, en la quinta sección se establecen los diferentes efectos del reúso en la estructura tarifaria de los prestadores. Finalmente, en sexta sección se proponen algunas señales e incentivos desde la perspectiva del regulador.

El documento se adjunta como anexo al presente informe, en formato Word.

1.10. Concepto de estudio de viabilidad económica y social del proyecto de reúso de aguas residuales

En esta sección se presenta el concepto del estudio de viabilidad económica y social de reúso en Colombia. Para ello, se ha seleccionado el proyecto piloto del reúso de aguas residuales en San Antero, que plantea el aprovechamiento de efluentes de la PTAR irrigando 10.14 hectáreas. A continuación, se describe brevemente las actividades a realizarse para la elaboración del estudio.

1.10.1. Metodología de trabajo

Para un adecuado desarrollo del estudio, se propone la siguiente metodología de trabajo:

- Para el análisis de costos de la evaluación social del proyecto, se tomará en cuenta la información contenida en el Informe de Avance N°3: Evaluación del potencial de reúso de aguas residuales en el Caribe Colombiano, y demás informes elaborados por el equipo consultor con el apoyo del Ing. Julio Moscoso. Dichos costos serán analizados considerando su vinculación con los beneficios esperados del proyecto de reúso para establecer los costos pertinentes para la evaluación social a realizar.

- Los beneficios sociales del proyecto piloto se centrarán en el impacto de la producción de forraje y de la actividad forestal. Al respecto:
 - Para la estimación de los beneficios sociales de la producción de forraje, se aplicará el enfoque del excedente del productor, vinculando su impacto en la actividad pecuaria.
 - La evaluación social de la actividad forestal considerará beneficios del uso directo de los bosques y/o su valor ambiental como retenedor de carbono.
- Se efectuará el balance de la oferta/demanda de agua para reúso. La oferta corresponde a la capacidad de producción de agua residual de la PTAR de San Antero, mientras que la demanda corresponderá a los requerimientos de agua para la producción de forraje y de forestales, estimados con base a parámetros técnicos de fuentes secundarias. De igual manera los costos e ingresos de la producción a generarse se basará en información secundaria.
- Se tomará en cuenta la información de la Guía N°4 de proyectos de pequeña irrigación del Departamento Nacional de Planeación de Colombia, y la Guía N°1 de proyectos ambientales de dicho Departamento, en lo que sea aplicable.
- Se usarán los parámetros de evaluación económica (Relaciones de precio de cuenta, tasa social de descuento, etc.) aprobados por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia.

1.10.2. Actividades por desarrollar

Las actividades por desarrollar y el tiempo que demandaría el servicio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Dimensiones y capacidades de las lagunas de la PTAR San Antero

Acciones	Cronograma (Días)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Revisión de criterios y parámetros del sistema de inversión pública	█	█																	
Planteamiento de la metodología para la evaluación social			█	█															
Análisis de la demanda de agua para la producción de forrajes				█	█														
Análisis de la demanda para la producción de forestales				█	█														
Definición de cédula de cultivo y cálculo del balance oferta/demanda de agua						█													
Cálculo de costos y beneficios privados de la producción de forrajes y de actividad pecuaria							█	█	█										
Cálculo de los costos y beneficios privados de la producción de forestales									█	█									
Cálculo de los beneficios sociales de la producción de forrajes											█	█							
Cálculo de los beneficios sociales de la producción de forestales													█	█					
Cálculo de los costos, beneficios e indicadores de rentabilidad social del proyecto																█	█		
Elaboración de Informe de Avance N° 5																	█	█	█

Fuente: Elaboración propia

1.11. Documentos de gestión del conocimiento

En esta sección se resume el contenido de los 02 documentos de gestión del conocimiento elaborados en el marco de la consultoría. Uno de ellos está referido a la política de financiamiento para el reúso de aguas residuales, mientras que el otro, está orientado a desarrollar los posibles impactos en la regulación tarifaria por efecto del reúso de las aguas residuales y propuesta de señales e incentivos para el reúso. Ambos documentos se adjuntan como anexo al presente informe.

1.11.1. Política de Financiamiento para el reúso de aguas residuales

En cuanto a las lecciones aprendidas referidas al financiamiento para el reúso de aguas residuales, se considera relevante las siguientes:

- + No permitir, en entornos de escasez permanente o estacional del recurso hídrico, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales que no incluyan el estándar requerido para el reúso.
- + No suponer que si no existe potencial de reúso de alta rentabilidad privada y gran escala los proyectos de reúso de aguas residuales no son beneficiosos para la sociedad y por lo tanto no debe asignarse financiamiento público.
- + Evitar establecer como requisito para la asignación de recursos públicos a proyectos de reúso de aguas residuales, procedimientos rigurosos de demostración de rentabilidad para la sociedad. Esto será difícil de cumplir y además tendrá un efecto disuasivo.

Es importante señalar que en entornos de escasez permanente o estacional del recurso

hídrico el reúso tiene altos beneficios netos para la sociedad, debiendo promoverse los proyectos en todos los casos.

En efecto, cuando se tenga una demanda rentable, es posible asegurar el financiamiento del reúso con recursos privados responsabilizando integralmente al usuario receptor por los costos de inversión y operación y mantenimiento de este. En el caso de proyectos no rentables privadamente, dado que existe rentabilidad social, está justificado y es conveniente para la sociedad asegurar financiamiento o cofinanciamiento público para las inversiones.

El mayor detalle y desarrollo de las lecciones aprendidas sobre el financiamiento para el reúso de aguas residuales se encuentra en el documento adjunto (en formato Word) al presente informe.

1.11.2. Posibles impactos en la regulación tarifaria por efecto del reúso de las aguas residuales y propuesta de señales e incentivos para el reúso

En cuanto a las lecciones aprendidas referidas a la propuesta de señales e incentivos a la actividad del reúso (desde las competencias de la CRA), se considera relevante las siguientes:

- + **Declaraciones regulatorias.** El regulador debe hacer una declaración regulatoria explícita indicando a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado que no puedan trasladar costos relacionados con la actividad de reúso a la tarifa de alcantarillado.
- + **Reglamentación de ajuste de costos particulares.** Para incentivar la actividad de reúso desde el punto de vista del generador, debe pensarse en una regla tarifaria que le permita al prestador retener parte de los ahorros en costos que genere el

reúso. Para esto, el regulador podría definir que en el cálculo del CMO de alcantarillado, el prestador deberá trasladar a las tarifas al menos el 50% de las variaciones negativas de los costos particulares que se generen por efecto del reúso.

- + **Aprovechamiento de rentas del reúso.** Para entregar incentivos a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado, proponemos que los eventuales ahorros en los costos propios del servicio público domiciliario de alcantarillado, que se generen por efecto de la actividad de comercialización de las aguas residuales se repartan entre la empresa y los usuarios.
- + **Reglamentación de una nueva causal de modificación del POIR.** Consideramos que la actividad de reúso hace relevante que exista una alternativa adicional para que los prestadores puedan modificar el POIR del servicio público domiciliario de alcantarillado, condicionado a variaciones negativas (reducciones) en los montos futuros de inversión originados por la destinación total o parcial de las aguas residuales a la actividad de reúso.
- + Creación de la categoría “prestadores del servicio público domiciliario de tratamiento y disposición final de aguas residuales” o prestadores del servicio de alcantarillado que solo presten la actividad de tratamiento o disposición de aguas residuales. En una Área de Prestación de Servicio público domiciliario de alcantarillado donde no se esté realizando aún tratamiento alguno a las aguas residuales, un agente económico interesado en hacer uso de esas aguas residuales (para las actividades de reúso permitidos en la Resolución 1256) podría encontrar la oportunidad de realizar inversiones de tratamiento. Este agente incurrirá en costos de inversión y operación para el tratamiento, que podría no poder asumir completamente con la actividad de reúso pero que, de compartirse con los usuarios de alcantarillado, podría hacer viable el proyecto.

El mayor detalle y desarrollo de las lecciones aprendidas sobre los posibles impactos en

la regulación tarifaria, y las señales e incentivos para el reúso de las aguas residuales se encuentra en el documento adjunto (en formato Word) al presente informe.

1.12. Desarrollo del webinar: experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica

En esta sección se resume el webinar sobre la experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica, realizado el 15 de septiembre del año 2022. El público objetivo son los profesionales de las Organizaciones e Institucionales del Caribe Colombiano. En la siguiente ilustración se presenta el flyer del webinar.

Ilustración 4: Flyer del webinar “Experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica”



Fuente: Elaboración propia

1.12.1. Programa del Webinar

El webinar contó con la participantes de diferentes expertos en reúso de aguas

residuales a nivel internacional: Brasil, Argentina, Perú, México y Colombia. A continuación, se presenta el programa del seminario.

Tabla 3: Programa del webinar “Experiencia de reúso de aguas residuales en Latinoamérica”

Horario	Actividad	Personas a cargo
14:00 - 14:10	Bienvenida Introducción general	Katharina Schaaff/ Diana García Moreno (GIZ) Jesús Vidalón (Akut)
14:10 - 14:50	Experiencia de Brasil, GS INIMA , Proyecto AGUAPOLO, San Pablo, la <i>mayor planta de producción de agua para reúso industrial de América Latina</i> .	Eduardo P. da Cunha Lima, <i>GS INIMA, Brasil</i>
14:50 - 14:20	Experiencia de Argentina, Mendoza Primer y mayor proyecto en América Latina sobre comercialización de aguas residuales tratadas para irrigación en la agricultura	Esp. Ing. Fabio E. Lorenzo <i>Subdirector de Gestión Ambiental</i> <i>Departamento General de Irrigación de la Provincia de Mendoza</i>
14:20 - 15:50	Experiencia de Perú Reúso de aguas residuales tratadas y primera experiencia con la comercialización Aguas residuales crudas para producir agua para irrigación.	Ing. Julio Moscoso <i>Consultor Akut Peru</i>
15:50 - 16:20	Experiencia de México, IBTech Panorama nacional y tecnologías aplicadas de tratamiento para diferentes objetivos de reúso	Inga. Benly L. Ramírez Higareda <i>IBTech, Mexico</i>
16:20 - 16:50	Proyecto de reúso de AARR tratados para riego de Maicao, en La Guajira, Colombia Presentación de estudios previos realizados.	Ing. Alvaro Orozco-Jaramillo <i>Consultor Internacional</i>
16:50 - 17:50	Mesa redonda con los ponentes para discutir preguntas con relevancia para la realización de reúso para Colombia, identificar barreras y enfocar posibles soluciones encontradas en otros países y proyectos	Coordinadores AKUT Consultora Carolina Cabral Expositores, participantes e invitados especiales
17:50 - 18:00	Cierre	GIZ Clausura

Fuente: Elaboración propia

1.12.2. Conclusiones y reflexiones finales de las exposiciones

En esta sección se describe brevemente las conclusiones y reflexiones finales de las experiencias presentadas en el webinar. A continuación, se detalla los resultados.

Experiencia en Argentina

La experiencia en Mendoza es considerada el primer y mayor proyecto en América Latina sobre comercialización de aguas residuales tratadas para irrigación en la agricultura. En la presentación del Ing. Fabio Lorenzo se concluye lo siguiente:

- + Incentivar el reúso de efluentes industriales en riego agrícola de cultivos como una nueva medida para afrontar la sequía.
- + Asegurar que el reúso se efectúe adecuadamente evitando la afectación de los acuíferos.
- + Ajustar el parámetro de conductividad eléctrica específica a las particularidades de cada cuenca y a la peligrosidad de cada establecimiento; estableciendo controles más estrictos y periódicos.
- + Propiciar la reducción del uso del agua y la disminución de la carga contaminante de los efluentes que se generan.
- + Regularizar la situación de empresas que generan efluentes industriales y carecen de Permiso de Vertido o Convenio, calificándolas como agentes contaminantes y exigiéndoles la presentación y estricto cumplimiento de un plan de Reversión de efluentes industriales bajo apercibimiento de clausura.
- + Asegurar la garantía del debido proceso en todo procedimiento sancionatorio, en línea con las modificaciones de la Ley 9003 de procedimiento administrativo.

Experiencia en Perú

En Perú se tiene aproximadamente 40 años de experiencia en reúso de aguas residuales, siendo los proyectos desarrollados tanto en la capital (Lima) como a nivel provincial. La presentación del Ing. Julio Moscoso concluye lo siguiente:

- + El reúso de las aguas residuales es una actividad que se viene incrementando en forma acelerada a nivel global, y el Perú no es una excepción, especialmente en su costa desértica.
- + El objetivo del reúso no es el saneamiento de las aguas residuales, aun cuando contribuya a ello, por tanto el tratamiento dependerá de las exigencias del tipo de reúso que se pretende, y no de una disposición final en el ambiente.
- + Si bien este recurso hídrico es importante para ofertarlo en lugares con poca agua o en épocas de estiaje, el principal valor se refiere a los nutrientes que sustituyen la fertilización química. Por ello no es conveniente poner límites de concentración de materia orgánica y nutrientes, al igual que cualquier fertilizante comercial.
- + Es posible asignar una tarifa para el agua residual cruda y tratada, ya que los costos de oportunidad en el riego agrícola y de áreas verdes lo permiten. La informalidad de esta creciente actividad no ha permitido monitorear adecuadamente la calidad del agua y de los productos regados, por tanto siempre es un riesgo para la salud. Por ello desde hace muchos años se vienen realizando esfuerzos con el apoyo de la Cooperación Alemana para lograr formalizar el reúso y hacerlo seguro.
- + Es necesario fortalecer la estrategia del reúso en las políticas del Estado, actualizar las normas periódicamente, difundir ampliamente la información generada y capacitar a los técnicos y funcionarios para lograr que el reúso sea una alternativa viable y segura.

Experiencia en México

A partir de la experiencia en México para la reutilización de agua tratada para uso público urbano, la Inga. Benly Ramírez presenta la siguiente recomendación a nivel internacional.

- + La Normativa de la OMS (2017), establece cuatro conceptos claves en un esquema de reúso potable a implementar, los cuales pueden ser una excelente guía para establecer los lineamientos de proyectos RPI en México. Estos conceptos clave son:
 1. Confiabilidad, con el objetivo principal de protección de la salud pública,
 2. Redundancia, bajo el concepto de barreras múltiples de tratamiento,
 3. Robustez, para responder a posibles fallas en el sistema asegurando la remoción de una amplia gama de contaminantes incluyendo CEs, y
 4. Resiliencia, implementando medidas de control de monitoreo dentro de los trenes de tratamiento.

Finalmente, destacan las siguientes las barreras y oportunidades para la implementación del reúso.

Tabla 4: Barreras y oportunidades para la implementación del reúso

Barreras	Oportunidades
Legales: Fragmentación de la TAR. Responsabilidad en el eslabón más débil.	Mejora de modelos de administración y financiamiento de los servicios de saneamiento (creación de un nuevo ENTE técnico autónomo y despolitizado, que inspeccione cumplimiento de normatividad, apoye a Oos y ayude a definir tecnologías
Económica: Falta de pagos por el agua, OOs no solventes financieramente.	Establecer como política pública nacional el manejo integral de cuencas con fines de uso de agua tratada.

Barreras	Oportunidades
Técnica: Rotación de personal.	Crear un programa nacional permanente y dinámico para la capacitación de organismos operadores y población en general en materia de tratamiento de aguas residuales.
Social: Falta de aceptación social del reúso de agua residual tratada.	
Técnicas: Falta de certidumbre de los tomadores de decisiones para implementar proyectos por falta de solvencia financiera, ya que los consumidores no están acostumbrados a pagar ni siquiera el suministro de agua de primer uso.	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la presentación de la Inga. Benly Ramírez.

Experiencia en Colombia

En el caso de Colombia, el Ing. Alvaro Orozco comenta sobre Embalses de Estabilización que son reservorios profundos (4 a 15 metros) que se utilizan para una combinación de dos objetivos: (i) almacenar aguas residuales domésticas (ARD) parcialmente tratadas durante un largo periodo; y (ii) mejorar la calidad de las aguas almacenadas durante el tiempo de residencia.

El especialista comenta que son un sistema de post-tratamiento (exige un tratamiento primario y/o secundario previo) que permite el reúso de las ARD en la irrigación de cosechas durante la temporada seca, al producir un tratamiento adicional que mejora la calidad del ARD recibida.

Finalmente, comenta como este tipo de sistema podría ser utilizado en el Proyecto de Reúso de Aguas Residuales Tratadas para riego La Guajira - Colombia.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

2. DIAGNÓSTICO DE EXPERIENCIAS NACIONALES DEL REÚSO

En esta sección se presenta información de experiencias nacionales del reúso de aguas residuales, y su relación con la gestión de cuenca y ordenamiento territorial, a través de instrumentos de planificación. Dado que la información disponible resultaba limitada, e incluso no estaba disponible en las entidades de contraparte, se realizaron coordinaciones con las entidades involucradas (Andesco, CAR, entre otros) para obtener más información en visitas presenciales, en particular a las zonas ubicadas en el área de influencia del proyecto CReW+. Estas visitas se concretaron en la misión del equipo consultor a las ciudades de Montería, San Antero, Cartagena y Barranquilla, realizada entre el 02 y el 06 de mayo de 2022. La información obtenida en esta visita se reportará en el Informe de potencial de reúso a presentar en una etapa posterior del servicio, incluyéndose algunos temas en este informe a nivel de mapeo e identificación.

Cabe resaltar que, debido al marco normativo colombiano, no es posible la venta del agua para reúso. Sin embargo, desde finales del 2021 (Resolución 1256) sí es posible un cobro por los servicios asociados; por lo que las experiencias reportadas no incluyen casos de venta de aguas residuales para reúso.

2.1. Caso Ecopetrol

La empresa Ecopetrol¹ desarrolló un proyecto piloto para investigar el impacto del uso de las aguas de producción tratadas, provenientes de actividad petrolera en el Piedemonte Llanero, en sistemas agropecuarios y forestales. El proyecto se ejecutó en una finca denominada ASA (Área Sostenible Agroenergética) en el Municipio Acacias, en el departamento de Meta, en la cual se establecieron diferentes cultivos forestales y pastos, que se regaron con aguas provenientes de producción de hidrocarburos.

El tipo de sistema de riego utilizado fue por gravedad superficial de melgas rectangulares, en el cual se aprovechaba la pendiente del terreno para distribuir el agua y mojar la mayor cantidad de área posible. El caudal de diseño fue de 129 litros por segundo.

Los resultados del piloto mostraron que no existe evidencia de efectos adversos por el uso de aguas de producción tratadas en el riego de sistemas agrícolas y forestales (Palma, Caucho, Guadua, Pino, Gmelina, Eucalipto, Yopo y Acacia). Asimismo, se encontró que el diámetro a la altura del pecho de las especies en estudio fue mayor en comparación con las referencias regionales, debido al riego continuo.

Por otro lado, no se observaron efectos perjudiciales por la irrigación de las aguas residuales tratadas en la calidad de los suelos, ni de las aguas superficiales y subterráneas. Además, se verificó que el uso de aguas de producción tratadas con fines de riego no presenta riesgos por acumulación de metales pesados ni por el contenido de hidrocarburos.

A partir de los resultados positivos en el proyecto piloto, se decidió escalar el reúso de aguas residuales a un total de 190 HA aptas para el riego. En efecto, en los últimos 07

¹ Información de Ecopetrol proporcionada por el MADS.

años se ha reusado en el ASA alrededor de 7.8 millones de metros cúbicos de agua de producción en riego de cultivos. Lo anterior es una muestra del compromiso de retornar al ambiente el agua que utilizada en las operaciones de Ecopetrol orientadas a alcanzar el objetivo de convertirse en agua neutral al año 2045.

En general, el proyecto ha contribuido en la rehabilitación ambiental y sostenible de los ecosistemas boscosos por medio de sistemas agroforestales con especies nativas de la región. En este sentido, se evidenció que el uso de las aguas de producción tratadas representa una alternativa de solución para los problemas de estacionalidad de la producción agropecuaria, cuando se utilizan para riego.

2.2. Caso Valle del Cauca

En el Valle del Cauca se realizó un experimento de reúso de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo (PTAR-C) para el riego de cultivos. En particular, el objetivo del estudio era evaluar el efecto de la calidad del agua de riego (efluente de la PTAR-C versus agua subterránea) en el crecimiento, la productividad y la producción de caña de azúcar (Madera-Parra, Echeverri, & Urrutia, 2012).

La principal actividad agrícola en el Valle del Cauca es el cultivo de la caña de azúcar, que representa alrededor del 5% del área total sembrada en Colombia. Respecto a la demanda de agua de riego, esta oscila aproximadamente entre 300 y 400 mm/año, lo que ejerce una gran presión en las fuentes de agua superficial y subterránea de la región.

Los resultados del estudio evidencian que la producción de caña de azúcar fue ligeramente más alta (133 a 145 t/ha) con el uso de los efluentes de la PTAR-C, en comparación con el promedio de la región (110 a 130 t/ha). Asimismo, el agua residual tratada cubrió con los requisitos nutricionales del cultivo (nitrógeno, fósforo y potasio),

y las normas de calidad de agua desde el punto de vista de calidad agronómica propuestos por la FAO (1985) y USDA (1954). Lo anterior demuestra que el reúso de aguas residuales para el riego de la caña de azúcar representa una alternativa viable, en condiciones de buena fertilidad del suelo y bajos niveles de sodio y magnesio.

2.3. Caso Río Bogotá

En el Río Bogotá, Colombia, se realizó el estudio de caso de la implementación de un plan de gestión de cuenca con un enfoque de gestión adaptativa (World Bank, 2019). Este enfoque implicaba que a medida que se implementaba el plan, se iban recogiendo las experiencias que servían para revisar y adaptar el plan.

Este plan de gestión de la cuenca tomaba en consideración las aguas residuales, saneamiento, y, en especial, la calidad general del agua en los ríos, el riesgo de inundación, el agua potable y otros suministros de agua. El plan propuso opciones de gestión, usando modelos de calidad del agua, suministro y riesgo de inundación.

Asimismo, el plan tenía que considerar a todas las partes interesadas, pues las asociaciones exitosas y compromiso temprano de las partes posibilita el apoyo a las decisiones esenciales para el desarrollo del plan de cuenca. En ese sentido, la CAR de Cundinamarca se encargó de liderar el desarrollo del plan, y uno de los principales agentes de interés identificados era la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB.

Esta empresa suministraba agua aproximadamente a 1,700,000 usuarios en doce ciudades incluyendo Bogotá y cuenta con una PTAR, El Salitre, la cual solo proveía de tratamiento primario de las aguas residuales. Sin embargo, dentro del Plan de gestión de cuenca se planteó el desarrollo de dos proyectos de la EAAB orientados a mejorar el tratamiento de aguas residuales: Implementar mejoras en la PTAR El Salitre, y la construcción de la mega planta de tratamiento de aguas residuales Canoas.

Posterior a la construcción de las asociaciones con las partes interesadas, realizaron la caracterización de la cuenca, de modo que se puedan identificar sus problemas y las posibles causas. Una vez identificado ello, procedieron a definir los objetivos de gestión de la cuenca y las condiciones que se esperaban de la ejecución del plan, en donde se especifiquen los usos y objetivos de calidad del agua. Luego de ello formularon las posibles soluciones para la gestión de la cuenca del Río Bogotá, como resultado del análisis de planes de gestión, inversiones y proyectos de cada parte interesada.

En el desarrollo del plan de gestión de cuenca del Río Bogotá se tuvieron tres alternativas, cada una representando un escenario optimista, intermedio o pesimista. Para medir cada alternativa, utilizaron cinco factores: índice de uso del agua (para cubrir las necesidades de agua de las partes interesadas), índice de calidad del agua, índice ambiental, medida de reducción del riesgo de agotamiento del agua, y el valor presente neto de los proyectos en cada alternativa. De esta forma, se eligió la alternativa con escenario intermedio, cuya implementación implicó la ejecución de todos los proyectos que la constituían (como el mejoramiento de la PTAR El Salitre y la construcción de la mega PTAR Canoas).

Así, el proyecto de descontaminación del río Bogotá ha demostrado cómo la adopción de un enfoque de planificación de cuencas puede ayudar a reducir la inversión al delegar la responsabilidad de mejorar la calidad del agua a diferentes partes interesadas e interesados. Incluso, los subproductos del tratamiento de aguas residuales pueden agregar valor a la agricultura y generar energía, lo que hace que las PTAR sean más sostenibles desde el punto de vista ambiental y financiero.

2.4. Caso Karibana

En Cartagena existe una experiencia importante de reúso de aguas residuales. Aguas de Cartagena, empresa que presta los servicios de acueducto y alcantarillado en esta

ciudad, entrega aguas residuales, luego del pretratamiento que realiza y antes de la disposición final de las aguas que realiza por el emisario submarino, al condominio habitacional Karibana, para el riego de jardines, pastos y calles con un total de 75 hectáreas.

El condominio incluye 160 apartamentos y, entre otras instalaciones, canchas de golf de 18 hoyos, ha sido el primero de reutilización de las aguas residuales en Cartagena y en la ciudad. Aunque no se ha tenido a la vista el convenio entre las empresas. Acuacar ha informado que cobra un cargo fijo y uno variable por el servicio, no por el recurso. Karibana desarrolla un tratamiento complementario para el uso final de las aguas residuales. El cargo cobrado por Aguas de Cartagena a Karibana, equivale a unos 180 - 200 pesos colombianos por metro cúbico. (Entre 4.5 y 5 centavos de dólar americano, respectivamente).

2.5. Caso Serena del Mar

También en Cartagena, está por concretarse un convenio entre Aguas de Cartagena y Novus Civitas, la firma que gestiona el nuevo desarrollo urbanístico integrado de Serena del Mar, mega obra urbanística que se desarrolla en mil hectáreas, al norte de Cartagena. El complejo urbanístico tomará aguas residuales antes del pretratamiento para el riego de áreas verdes y canchas de golf. Estos recursos son los complementarios a los que genera en el propio complejo habitacional, en el que el propio grupo empresarial ha asumido la condición de prestador del servicio de agua potable. El caudal complementario requerido equivale aproximadamente a 4 m³/s.

2.6. Complejos habitacionales en Barranquilla

En Barranquilla, que tiene una cobertura baja del servicio de alcantarillado (como ejemplo, 30% de la población en el área de responsabilidad de Triple A), está difundido el reúso de las aguas residuales que generan más de 40 proyectos habitacionales, para

el riego de áreas verdes.

Esta práctica, aunque en términos generales constituye reúso de aguas residuales y contribuye al uso eficiente del recurso, no está claramente definido en las normas, existiendo dudas en la Corporación Regional del Atlántico sobre su tratamiento legal. En caso de considerarse recirculación, dadas las precisiones en el término que hace la Resolución 1256 del 2021 respecto del Suelo de Soporte de Infraestructura, determinaría un trámite menos complejo (únicamente autorización de vertimiento), sin perjuicio de que la autoridad ambiental, tome las previsiones requeridas para garantizar la calidad con objetivos ambientales y sanitarios.

2.7. Otras oportunidades

La misión del 02 al 06 de mayo ha permitido, además de confirmar el potencial del proyecto piloto de San Anterior, identificar nuevas oportunidades en todas las otras zonas visitadas. Aunque, en general, existe una gran oferta hídrica, existe escasez del recurso en épocas de sequía. Esto, y los nutrientes que aporta el agua residual, generan oportunidades para el reúso.

Estas serán tratadas en el informe de potencial de reúso, y básicamente se enumeran a continuación:

- Montería, reúso de aguas residuales para áreas verdes a partir de los efluentes de la planta de tratamiento de la ciudad. El nivel de calidad del agua residual y la voluntad de los actores.
- Cartagena, consolidación del caso Serena del Mar y proyectos similares.
- Barranquilla, reúso a partir de las lagunas de oxidación que opera la empresa Triple A.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

3. SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN EL CARIBE COLOMBIANO

La costa del Mar Caribe es una zona cálida, con topografía bastante quebrada y ondulada y de tierras fértiles para la agricultura y la ganadería. Según el Censo Nacional Agropecuario (CNA), el Caribe colombiano en 2014 contaba con 287.050 unidades de producción agropecuaria (UPA) y que representaba el 12.1% de las UPA de Colombia. Por su parte, Córdoba era el departamento que tiene la mayor proporción de área agropecuaria, con el 76.3% de su área rural dispersa con respecto a los otros departamentos de la región. En Córdoba, el 58% de las UPA estaba dedicado a la actividad pecuaria y 36% a la actividad agrícola, quedando solo 6% como bosques naturales, lo que implicaba un uso muy intensivo de su territorio en el agro.

3.1. Principales cultivos agrícolas

La agricultura en la región cuenta con un millón 306 mil hectáreas sembradas, de las cuales el 28.5% corresponde a cereales, el 25.8% a plátanos y tubérculos, el 23.4% a cultivos agroindustriales, 12.4% a frutales y 10% a otro tipo de cultivos (legumbres, forestales, etc.). La región cuenta con el 27.1% del área sembrada con cereales de

Colombia, destacándose Córdoba y Bolívar con las mayores extensiones. Resalta la producción de maíz blanco, maíz amarillo y arroz, especialmente en los departamentos ya mencionados (DANE, 2014).

Por el lado del cultivo de plátano y tubérculos, la región tiene el 17.6% del área sembrada, siendo Córdoba, Magdalena y Bolívar los territorios que lideran la producción regional. La yuca es el principal cultivo con 1.7 millones de toneladas cosechadas en 2013, siendo Bolívar y Magdalena los principales productores de la región (62%). El plátano es el segundo producto que se cultiva en los departamentos de Córdoba y Cesar, que en conjunto representan el 66% de la producción regional y el 8% a nivel nacional. Los cultivos de algodón y piña se destacan en Córdoba (DANE, 2014).

3.2. Actividad pecuaria bovina

El Tercer Censo Agropecuario de Colombia realizado en 2014 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reporta que el total de ganado asciende a 21.502.811 cabezas bovinas, 5.001.978 cabezas de ganado porcino, 175.492 cabezas de ganado bufalino, 1.211.889 equinos, 777.513 ovejas y 753.778 cabras. El inventario avícola, por su parte, presenta un total de 720.368.173 aves. Además, se registran 25.084 UPA con actividad acuícola y 101.904 UPA con actividad pesquera. Por último, las otras especies reportan un total de 4.011.917 unidades. Estas cifras evidencian que la principal actividad pecuaria es la ganadería bovina (DANE, 2014).

Tabla 5: Inventario bovino en el Caribe Colombiano 2014

Departamento	Número de cabezas	Porcentaje del país (%)	Número de UPAs	Porcentaje del país (%)
Atlántico	215,509	1.0	7,095	1.1
Bolívar	885,113	4.1	20,880	3.2
Cesar	1,446,184	6.7	11,932	1.8
Córdoba	1,956,117	9.1	24,982	3.9
La Guajira	329,571	1.5	13,073	2.0
Magdalena	1,138,740	5.3	18,178	2.8
Sucre	823,131	3.8	17,340	2.7
Región Caribe	6,794,365	31.6	113,480	17.5
Nacional	21,502,811	100.0	648,199	100

Fuente: DANE-CNA, 2014

El inventario bovino del territorio nacional para el año 2014 fue de 21.502.811 cabezas. De este total, el 35.8% del inventario bovino en el área rural dispersa censada se encuentra en los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare y Meta, es decir, 7.692.857 cabezas de ganado. El inventario específico para los departamentos ubicados en la Región Caribe de Colombia se muestra en el cuadro 1. Estas cifras permiten concluir en que esta región caribeña maneja el 31.6% de las cabezas producidas a nivel e involucra el 17.5% de las unidades de producción agropecuaria (UPA).

3.3. Producción de pastos y forrajes

Los pastos pueden ser clasificados como gramíneas (pará, brachiaria y yaraguá) y leguminosas o proteínas de origen vegetal (caña forrajera, sorgo forrajero, semillas de algodón, de campano, maíz y matarratón), y ambas categorías pueden cultivarse en



asociación.

Fuente: Pasturas Tropicales Colombia

La introducción del brachiaria y el yaraguá no sólo mejoró la rentabilidad de los productores, al reducir el desplazamiento estacional del ganado a otras zonas de engorde (trashumancia), sino que también mejoró la alimentación de los animales al ser pastos más tiernos. Con estos pastos también se ampliaron los procesos de ensilaje y henificación. El primero consiste en cortar los pastos y almacenarlos en silos, que luego sirven como alimentos de los animales en período de sequía o verano. En el proceso de henificación se corta el pasto en partículas más grandes, se seca, se airea y se almacena en pacas. Con esta clase de suplementación, no sólo se consigue disponer de alimento durante todo el año, sino que también se logra que aumente la fertilidad de los animales (CEGA, 1999), (Tapia y otros, 2019).

En el 2002 el departamento de Córdoba tenía cerca de 1,710,000 hectáreas en pastos, de los cuales el 73% estaba en pradera tradicional, el 26% en pradera mejorada tecnificada y menos del 1% clasificaba como pastos de corte. Las especies forrajeras predominantes son: angleton, colusuana, yaraguá (en pradera tradicional) y brachiaria (en pradera mejorada tecnificada), y en pasto de corte las especies más difundidas son king grass y caña forrajera. En el caso específico de Montería, el 23% del área departamental se concentraba en pastos, con más de 385.000 hectáreas, de los cuales el 94% estaban cultivados en pradera tradicional, siendo el "angleton" la variedad predominante (Viloria, 2004).

Al relacionar el área en pastos con el inventario ganadero se obtiene la capacidad de carga, que para Colombia en 2002 fue de un animal por hectárea, mientras que para la región Caribe la relación fue de 1.4 cabezas por hectárea y en el departamento de Córdoba de 1.6. La mayoría de las fincas presentan escasez de pastos, unas durante la época seca y otras por las inundaciones ocurridas durante el período de lluvias en las

zonas inundables de los ríos Sinú, San Jorge y Cauca. Una característica de los forrajes naturales es que están desprovistos de fósforo y calcio, por tanto, se deben suplementar con sales mineralizadas (Viloria, 2004).

De todo lo descrito anteriormente se puede inferir que la ganadería bovina en Córdoba es estacional, lo que implica trasladar el ganado a otras regiones del país al inicio de la época seca, situación que limita el desarrollo de la industrialización de las cadenas cárnica y láctea que brindaría un valor agregado a esta actividad. Si bien el cultivo de forrajes silo aminoró este problema porque permitía almacenar este alimento, la producción de ellos tampoco se puede realizar en la época seca, por lo que normalmente se tiene que adquirir de otras regiones.

3.4. El problema de la disponibilidad de agua

La baja productividad de la ganadería bovina en Córdoba está vinculada al régimen hidrológico característico de toda la zona caribeña de Colombia, que por un lado en la época de avenida (lluviosa) genera inundaciones y el arrastre de las capas fértiles de los suelos ricos en nutrientes, y del otro lado, la época de estiaje con los periodos críticos de sequía que limitan mantener los pastos en las praderas naturales y mejoradas, obligando a los productores a subastar sus animales.

Según Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), el departamento de Córdoba registra un patrón muy variado en la distribución de las lluvias medias anuales. En la franja costera se presentan las menores lluvias con menos de 1500 mm al año. El centro del departamento tiene entre 1500 y 2000 mm y hacia el extremo sur, en aproximación a la cordillera, los volúmenes de lluvia pueden alcanzar los 4,000 mm. El régimen de lluvias durante el año, al centro y sur del departamento es monomodal, con una única época seca de diciembre a marzo y una temporada de lluvias que comienza a incrementarse a partir del mes de abril, alcanza máximos en julio-agosto- septiembre, y luego disminuye hasta el final de año. Este

régimen es algo menos marcado en proximidades a la costa, en donde se nota una leve disminución de lluvias a mitad de año (DEAM, 2022).

Esta información permite deducir que a partir de diciembre los potreros con pastos naturales utilizados por los ganaderos para alimentar el ganado vacuno comienzan a secarse, dificultando una adecuada alimentación, por tanto, se ven obligados a vender los animales antes de perder peso. Solo en limitados casos, los ganaderos adquieren o producen forrajes para ensilaje, lo cual les permite alargar la crianza para ganar un poco más de peso antes de la venta, pero la mayoría de los ganaderos no tiene esa posibilidad.

A efectos de graficar la disponibilidad hídrica se presenta en el cuadro siguiente el Índice de presión sobre cuencas hídricas establecido en el Estudio Nacional del Agua 2018, que relaciona la demanda y la oferta neta.

En el cuadro se muestra que zonas como Baja Guajira y Alto Magdalena se encuentran entre las regiones críticas tomando en cuenta este índice.

Tabla 6: Índice de presión sobre cuencas hídricas 2018

Código	Cuenca	Demanda anual (MMC)	Oferta media anual (MMC)	Oferta media anual neta	Índice de presión anual (X100.000)	D/OM	Oferta año seco anual (MMC)	Oferta año seco anual neta	Índice de presión año seco	D/OS
1	Alto Magdalena	1.355,38	51.433	25.717	5.270,4		33.950	16.975	7.984,7	
2	Sabana de Bogotá	40,23	1.019	510	7.892,9		109	55	73.802,8	
3	Medio Magdalena	270,32	78.778	39.389	686,3		56.530	28.265	956,4	
4	Río Sogamoso	207,05	21.863	10.932	1.894,0		12.096	6.048	3.423,5	
5	Bajo Magdalena	690,37	38.026	19.013	3.631,0		27.521	13.761	5.017,0	
6	Río Cesar	88,34	12.397	6.198	1.425,2		7.791	3.896	2.267,7	
7	Alto Cauca	508,8	27.945	13.973	3.641,4		13.187	6.594	7.716,7	
8	Medio Cauca	179,7	29.942	14.971	1.200,3		19.327	9.664	1.859,6	
9	Bajo Cauca	9,84	68.321	34.160	28,8		52.281	26.140	37,6	
10	Río Nechí	250,64	26.623	133,12	1882,9		19.346	9.673	2.591,1	
11	Sierra Nevada de Santa Marta, occ.	244,33	8.119	4.871	5015,6		5.559	3.335	7.325,7	
12	Río Tolo	0,63	978	489	128,8		429	215	293,6	
13	Río Atrato	35,08	132.914	79.748	44,0		101.009	60.605	57,9	
14	Sinú Caribe	162,11	33.287	16.643	974,0		27.306	13.653	1.187,4	
15	Sierra Nevada de Santa Marta, norte	55,16	5.885	3.531	1562,1		3.999	2.400	2.298,7	
16	Alta Guajira	12,11	2.400	231	44.851,0		273	27	22.297,0	
17	Baja Guajira	13,44	1.450	870	1.545,0		828	497	2705,9	
18	Río Catatumbo	304,83	21.722	13.033	2.338,9		13.994	8397	3.630,4	
19	San Andrés - Providencia	7,57	19	11	66.403,5		12	7	104.428,6	
20	Río Arauca	42	32.531	19.519	215,2		25.843	15.506	270,9	
21	Alto Meta	106,28	66.196	39.718	267,6		50.752	30.451	349,0	
22	Bajo Meta	92,29	115.110	69.066	133,6		94.782	56.869	162,3	
23	Río Vita	1,63	16.376	9.826	16,6		13.609	8.165	20,0	
24	Río Tomo - Tuparro	3,34	41.871	25.123	13,3		3.4650	20.790	16,1	
25	Río Vichada	6,08	38.058	22.835	26,6		31.862	19.117	31,8	
26	Alto Guaviare	32,22	69.913	41.948	76,8		55.849	33.509	96,2	
27	Medio Guaviare	10,64	53.762	32.257	33,0		45.892	27.535	38,6	
28	Bajo Guaviare	2,94	36.812	22.087	13,3		31.581	18.949	15,5	
29	Río Inírida	10,66	95.402	57.241	18,6		78.009	46.805	22,8	
30	Río Atabapo	0,85	10.837	6.502	13,1		8.753	5.252	16,2	
31	Río Guainía	3,34	51.431	30.858	10,8		43.955	26.373	12,7	
32	Río Vaupés	11,37	90.499	54.299	20,9		78.299	46.979	24,2	

Fuente: ENA (IDEAM, 2018)

3.5. Productividad de los forrajes silo y alimentación de ganado bovino

La productividad del cultivo de forraje de silo depende del clima, la fertilidad del suelo, la especie de forraje y la densidad de la plantación. En la mayoría de los suelos se cultivan densidades de 64,000 a 81,000 plantas por hectárea. Poblaciones de plantas más altas que este rango serían más adecuadas solo para los suelos más productivos. Por ello las aguas residuales permiten elevar significativamente la fertilidad de los suelos. Así se podría alcanzar producciones de maíz forrajero, como en Pensilvania (USA) en donde la productividad fluctúa entre 58 y 65 Ton/ha.año para una densidad entre 60,000 y 100,000 plantas/ha (ABT México, 2022).

El consumo de alimento del ganado depende de la edad y el peso del animal. Se estima que, por cada 100 Kg de peso, el animal debe comer un equivalente de 1.8 a 3.5 Kg de materia seca. Si se asume que los forrajes de silo tienen un 20% de materia seca, se puede deducir que por cada 100 kg de peso se deberá proporcionar de 9 a 17 kg diarios de forraje. Las ganancias promedio de peso vivo para novillos alimentados con pastos



durante el año no suelen pasar de 0.6 kg/día y normalmente es de 0.5 kg/día, aunque con pastos fertilizados y una rotación adecuada permiten obtener ganancias diarias de 0.750 kg. a 0.850 kg. (Contexto Ganadero, 2022).

Fuente: Federación Colombiana de Ganaderos

Con la información anterior se puede estimar que una hectárea de maíz forrajero que produzca 60 toneladas podría alimentar 100 cabezas bovinas por 50 días, logrando un incremento de 2,500 kg. de peso vivo en este grupo de animales.

3.6. Costos y precio de mercado pecuario bovino

Si bien es cierto que la productividad y los ingresos de las ganaderías de leche son superiores a las de ceba y doble propósito, también se encuentra en los primeros que los costos de producción e inversión de capital son superiores. Así, por ejemplo, en el 2000 las ganaderías lecheras de clima frío presentaron costos de producción de \$1,900,000/ha.año (US\$ 950/ha.año) y \$1,200,000/cabeza (US\$ 600/cabeza), mientras en las ganaderías de la región Caribe, predominantemente de ceba y doble propósito, ambos fueron cercanos a \$285,000/ha.año y cabeza, equivalente a solo US\$ 143/ha.año o cabeza (Viloria, 2004).

Holmann y Rivas (2003) calcularon para el 2000, los costos e ingresos de la ganadería para Córdoba, estableciendo un promedio por cabeza de ingresos brutos de \$ 871,282 (US\$ 436), un costo total de \$ 695,778 (US\$ 348), lo que define un ingreso neto de \$ 175,504 (US\$ 88).

El departamento de Córdoba es un "exportador neto" de ganado bovino a otras regiones de Colombia, deficitarias en producción. En el período de doce años de 1991 a 2002, en Córdoba se sacrificaron cerca de 1,100,000 cabezas de bovinos y se movilizaron a otros departamentos un poco más de 4,000,000 de cabezas, lo que significa que por cada animal sacrificado se movilizaban a otros departamentos 3.8 cabezas, que en su mayoría eran novillos con destino al departamento de Antioquia. Entre 2000 y 2002 Córdoba importó a otros departamentos cerca de 1,500,000 cabezas e importó 530,000 cabezas, de lo que resultó una "exportación neta" de 930.000 cabezas hacia

regiones deficitarias (Viloria, 2004).

En este sentido, se puede estimar que en una hectárea que rinda 60 toneladas de maíz forrajero, el Municipio de San Antero obtendría US\$ 7,500 gastados para adquirirlos. Del mismo modo se puede estimar que este forraje permitirá producir 2,500 kg de peso vivo en el ganado alimentado, beneficio que no se obtiene cuando estos se venden al inicio de la época seca.

4. SITUACIÓN DEL REÚSO EN COLOMBIA

En América Latina existen muchas experiencias de reúso de aguas residuales principalmente vinculadas a zonas áridas con serias limitaciones de agua, tales como las reportadas por México, Perú y Argentina. El caso de Colombia es diferente, ya que en general se trata de un país con un balance hídrico positivo que acredita normalmente una disponibilidad de agua suficiente para las actividades urbanas, agrícolas e industriales. Sin embargo, existen algunas regiones en donde vastos territorios tienen una limitación permanente de recursos hídricos, como la Guajira, y otros una marcada estación seca que limita las actividades productivas, como la ganadería en la región caribeña, conformada por los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar Atlántico, Magdalena y Cesar, y donde se encuentran las ciudades de Montería, Cartagena de Indias y Barranquilla que son materia de esta evaluación.

4.1. Información sobre el reúso en Colombia

La información oficial sobre casos de reúso existentes en Colombia es muy limitada; sin embargo, se pueden citar algunos casos concretos como los siguientes:

- + Las investigaciones de Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico - CINARA de la

Universidad del Valle, que ha elaborado numerosos estudios a escala piloto en el Valle del Cauca.

- + La experiencia de riego de caña de azúcar con aguas residuales de Ginebra, también promovida por CINARA y que lleva más de 20 años operando con una planta de tratamiento de lagunas de estabilización.



- + Fuente: Universidad de Valle - Google Maps 2017
- + La experiencia de riego forestal con las aguas residuales domésticas de los campos petroleros de Ecopetrol.
- + El reúso indirecto de las aguas residuales en los campos de arroz de Ibagué, cuya viabilidad fue evaluada por la Corporación Universitaria de Ibagué (Venegas, 2002).



- + Fuente: Aguas residuales.info
- + Los casos informales de reúso agrícola en los municipios de Galapa, Luruaco y Caravaca del Departamento Atlántico, reportados por la Corporación Autónoma

Regional del Atlántico.

- + El Inventario Regional de la situación de las aguas residuales domésticas en América Latina realizado por la OPS en 2004 reportaba que Colombia tenía una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230 Ha, de las cuales el 27% se hacía bajo la modalidad del reúso directo de aguas residuales tratadas (327.5 ha), pero el otro 73% se realizaba con aguas sin tratar diluidas en aguas superficiales donde se descargaban (902.679 ha), práctica de gran magnitud bajo la modalidad de reúso indirecto (Moscoso y Egocheaga, 2004).

4.2. Percepción del reúso en Colombia

Las diversas reuniones de trabajo con los funcionarios del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y las Corporaciones Autónomas Regionales de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), del Canal del Dique (Cardique) y del Atlántico, ha permitido comprender las limitaciones para promover el reúso de las aguas residuales en Colombia, toda vez que el país dispone de diversas y abundantes fuentes de agua (balance hídrico positivo). A ello se suma la falta de experiencias importantes en la utilización de estas aguas, lo cual desalienta su reúso por una percepción de que esa práctica conlleva a serios riesgos que pueden afectar la salud pública y el ambiente.

No obstante, en los últimos años el Estado Colombiano ha evidenciado la importancia del reúso, sustentado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en las estrategias de una Economía Circular que vienen asumiendo los países a nivel global. Es así como el Documento CONPES 3934 de 2018 sobre "Política de crecimiento verde" establece dentro de sus líneas de acción, la promoción del uso del agua residual tratada como una estrategia para promover la bioeconomía, y también la Estrategia Nacional de Economía Circular formulada por el Gobierno Nacional en el 2019 contempla el reúso como una práctica para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.

En cuanto a la percepción de las empresas prestadoras de servicios de agua y

saneamiento, de las entrevistadas (Veolia, Aqualia, Acuacar y Triple A), tienen una visión más optimista de la viabilidad del reúso en Colombia. Algunas vinculadas a consorcios internacionales conocen que el reúso es una práctica que se está impulsando con fuerza en los países desarrollados, y que podría ser una alternativa de negocio interesante. Sin embargo, en muchos casos se evita asumir compromisos para viabilizar el reúso, pues implica mantener los sistemas de tratamiento en óptimas condiciones para asegurar la calidad requerida por los usuarios potenciales. En el caso concreto de Aqualia, manifestaron su total respaldo a la Propuesta de Reúso de San Antero promovido por la GIZ y el Municipio local, pero luego se pudo apreciar que la operación y mantenimiento de la PTAR involucrada es deficiente lo que no podría facilitar el reúso propuesto en ese caso.

Por último, la percepción de los potenciales usuarios, como es el caso de los agricultores y ganaderos de San Antero, se evidencia que son algo reticentes en aceptar el reúso, ya que tienen temor de que las aguas residuales afecten la calidad de sus cultivos o enfermen su ganado. No obstante, en la última entrevista realizada en mayo se ha podido observar que el problema de la limitación de agua cada día es más severo en la estación seca debido a los efectos del cambio climático, por tanto, los ganaderos ven en el reúso de las aguas residuales una solución a sus graves limitaciones de agua, que siempre los obliga a suspender el engorde de sus animales al inicio de la época seca.

Asimismo, existe un potencial usuario adicional, que viene tomando relevancia en los últimos años: los municipios y entidades privadas que deben mantener sus áreas verdes en condiciones óptimas aun en la estación seca. Existen experiencias muy promisorias en Cartagena, que muestran la posibilidad de utilizar las aguas residuales para este fin. Una opción de reúso que también involucra a estos mismos actores es el desarrollo de zonas forestales, que podrían estar vinculadas a las obligaciones de las licencias ambientales municipales.

Una experiencia a escala piloto bien implementada del reúso de las aguas residuales en los usos más viables podría cambiar la percepción de todos los actores antes mencionados, ya que permitiría:

- Demostrar los beneficios del uso de las aguas residuales, al ofrecer un abastecimiento seguro y permanente, así como el aporte de nutrientes que sustituyan gran parte de la fertilización química ahora tan escasa y costosa.
 - Identificar los riesgos que podrían generar estas prácticas e identificar las medidas de control para evitar impactos negativos en la salud y el medio ambiente.
 - Evaluar los resultados de la experiencia para sustentar mejor una normatividad más ajustada a la realidad local.
 - Valorizar el recurso agua residual hasta lograr establecer un precio por el servicio de tratamiento, que sería propuesto a los usuarios que busquen beneficios económicos atractivos en sus negocios.
 - Lograr que las empresas operadoras se muestren más dispuestas a ofertar este recurso para contar con ingresos económicos adicionales, que por lo menos financien parcialmente una buena operación y mantenimiento de las PTAR.
- + En suma, los casos piloto que se ejecuten permitirán mostrar a los usuarios que es posible hacer un reúso seguro y productivo. Luego de esta tarea, se deberá implementar un programa de capacitación para los agricultores y ganaderos, con el objetivo de que aprendan a manejar esta práctica del reúso en forma eficiente y con riesgos importantes para ellos y sus productos. Por último, será necesario que estas experiencias exitosas se difundan con mucha fuerza, con el propósito de que los actores similares de otros lugares puedan asumir esta nueva fuente alternativa de agua para el riego para sus parcelas agrícolas y pecuarias, así como las áreas verdes urbanas y nuevas zonas de forestación.

4.3. La calidad sanitaria requerida para el reúso

Las directrices de la OMS de 1989 y 2006 proponen una serie de requisitos de calidad en reúso de aguas residuales domésticas para proteger la salud pública de usuarios y consumidores. Destaca los huevos de helmintos como principal riesgo y los coliformes termo tolerantes como indicadores de bacterias y virus patógenos.

La norma 1256 establece ciertos parámetros de control, pero a su vez indica que se debe cumplir con los lineamientos dispuestos en el Decreto 1076, que establece concentraciones de 5,000 coliformes totales/100 ml y 1,000 coliformes termo tolerantes/100 ml para el riego con aguas superficiales de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. Para el resto de cultivos no aplica.

En las normas no se mencionan límites para huevos de helmintos ni protozoos parásitos humanos, los mismos que están relacionados más con aspectos sanitarios que ambientales, por lo que deberían ser materia de análisis del sector salud y propiciar una coordinación intersectorial.

- + La norma se centra más en parámetros físico-químicos que pueden afectar la calidad del suelo y cuerpos receptores si se descarga, destacando límites de **DBO y DQO** que sí son importantes para esos fines, pero que para el reúso agrícola pueden ser **beneficiosos**
- + La norma menciona que el reúso de las aguas "**no aplica para el uso de las aguas residuales como fertilizante o acondicionador de suelos**", situación que debería ser evaluada en el futuro, ya que es evidente el aporte de materia orgánica y nutrientes que pueden acondicionar y fertilizar los suelos.
- + Por tanto, en particular en determinados tipos de reúso como los factibles en el

caribe colombiano, el contenido de **materia orgánica, nitrógeno y fósforo** en las aguas a ser reusadas **no debe ser limitado**, ya que al igual que los fertilizantes, se deberán **aplicar según las exigencias de cada caso**.

1. Frente a la necesidad de lograr mayor precisión sobre algunos de los aspectos antes discutidos, se podría desarrollar **instrumentos complementarios como reglamentos y guías**, que como han propuesto algunas autoridades ambientales entrevistadas, permitirán formalizar el reúso existente y promover efectivamente una mayor cantidad de nuevas experiencias viables.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

5. POTENCIAL DEL REÚSO EN LA REGIÓN CARIBEÑA DE COLOMBIA Y CASO SAN ANTERO

2. Si bien el reúso de las aguas residuales a nivel mundial se ha diversificado ampliamente, ya que se aprovecha en diversas actividades agropecuarias, industriales y urbanas. Entre muchas listas de las diferentes actividades de reúso, podemos citar la propuesta por el Proyecto de Reúso en San Antero que evaluó las siguientes opciones, teniendo como referencia la normatividad colombiana (CReW+, 2022-1):
- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
 - Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
 - Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
 - Cultivos para la obtención de biocombustibles, incluidos lubricantes.
 - Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- + Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.

- Jardines en áreas no domiciliarias.
 - Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.
 - Descarga de aparatos sanitarios.
 - Limpieza mecánica de vías
 - Riego de vías para el control de material particulado.
 - Sistemas de redes contra incendio.
- + Es evidente que el reúso en la agricultura es la más importante, y el caso de Colombia no escapa a tales expectativas. Por ello a continuación se describen aquellas actividades más promisorias en la Región Caribe de Colombia, aun cuando en cada zona específica se puedan presentar oportunidades diferentes. Se considera que las actividades más viables del Proyecto de Reúso en San Antero son las siguientes:

+

5.1. El reúso en la actividad agrícola y ganadera

Si bien el reúso se ha desarrollado en el mundo principalmente en lugares con poca disponibilidad de agua, también se efectúa en aquellos países un con balance hídrico positivo, ya que en todos los casos existe una estación seca que limita las actividades agrícolas y ganaderas. La región caribeña del norte de Colombia se caracteriza por una época seca muy crítica, que obliga a los ganaderos a vender sus animales por falta de pastura.

El reúso de las aguas residuales permitiría producir forrajes de silo para atender las necesidades de alimentación del ganado en esa época seca. En casos como San Antero, el municipio destina 200 millones de pesos para adquirir 400 TM de forraje silo que se entregan a los ganaderos para alimentar sus animales en la época seca. Por tanto, se considera que muchos municipios de la región Caribe que tienen una actividad pecuaria bovina importante, como se ha mostrado con la tabla 1, podrían producir sus propios forrajes silo para apoyar a los ganaderos, reduciendo significativamente sus gastos por este servicio brindado como lo hace San Antero. Los forrajes de corte más difundidas son las especies king grass y caña forrajera.



Fuente: Pasturas Tropicales Colombia

Del mismo modo, los propios ganaderos podrían mantener sus campos con pastizales naturales durante todo el año, manteniendo con aguas residuales tratadas los pastos naturales de sus potreros durante toda la época seca, evitando así la venta del ganado por falta de alimento. De esta forma los productores podrían continuar el engorde de sus animales, mejorando significativamente la productividad y rentabilidad de su

actividad ganadera. Además, el mantenimiento de pastizales naturales o la producción de forrajes silo se puede maximizar si se almacena agua residual tratada en reservorios durante la época de lluvias, para luego ser utilizada en la época seca, tal como lo hace Israel. En ese país los 15 m³/s de aguas residuales utilizadas representan el 20% de los recursos hídricos disponibles actualmente. El 87% de las aguas residuales tratadas abastecen durante la estación seca más e 300 sistemas de irrigación que abarcan 123,000 ha, mediante grandes reservorios implementados en las mismas zonas de



reúso (Libhaber, 2015).

Fuente: Revista del Instituto de Investigación FIGMMG

5.2. El reúso en la actividad agrícola y ganadera

La agricultura es la actividad más importante en el reúso de las aguas residuales, y aun cuando esta modalidad se desarrolla en lugares muy cercanos a las ciudades, ya que estas aguas provienen de una zona urbana, sigue siendo una actividad rural.



Fuente: Pontificia Universidad Javeriana

Sin embargo, en la propia zona urbana existe otra actividad que demanda el uso de las aguas residuales: el riego de las áreas verdes públicas y privadas urbanas.

El reúso de las aguas residuales para el riego forestal y de áreas verdes es una práctica que está ganando mucho espacio en los últimos años a nivel global, principalmente vinculada a las grandes ciudades que utilizan para este riego otras fuentes de agua requeridas para el abastecimiento doméstico, comercial e industrial, o más aún, sustituyendo el uso del agua potable actualmente utilizada para este fin y que debe ser destinada para las actividades domésticas y comerciales.

La limitación del recurso hídrico en ciudades ubicadas en zonas desérticas o con épocas de fuerte sequía demandan el uso de las aguas residuales tratadas para el riego de áreas verdes públicas y privadas, ya que de lo contrario no se puede mantener estas áreas y menos desarrollar otras nuevas potenciales.



Fuente: Andina - Agencia Peruana de Noticias

Es el caso de Lima, Perú, en donde actualmente se utilizan 440 l/s de aguas residuales tratadas para el riego de parques y campos deportivos, sin embargo, otros 2,230 l/s provienen de otras fuentes y 1,130 l/s proviene del suministro de agua potable. Por ello se está implementando el Plan de riego sostenible de las áreas verdes de Lima Metropolitana, que pretende sustituir todas las fuentes de agua tradicionales por agua residual tratada (Moscoso, 2016).

Las principales ciudades del Caribe Colombiano, como Montería, Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, están rodeadas por áreas verdes y boscosas que les ofrecen un ambiente paisajístico agradable, pero también poseen otras áreas verdes dentro del casco urbano, tales como parques, jardines y bermas centrales de las avenidas, que durante 7 meses se mantienen adecuadamente con las lluvias, pero que en la estación seca deben ser



regadas.

Fuente: Wikipedia

En casos como Cartagena estos ambientes son regados con agua potable. Aun cuando la oferta de agua potable en estas ciudades sea mayor que la demanda, no se justifica utilizar este recurso, ya que es de mayor costo que otros por el solo hecho de haber sido tratado para el uso doméstico y comercial.

De otro lado, también es importante el desarrollo de áreas forestales que brinden servicios de protección y recreación a las ciudades, especialmente ubicadas en zonas áridas, que pueden ser atendidas con las aguas residuales tratadas. Es el caso de la ciudad de Chimbote ubicada en la costa peruana, en donde la construcción de la nueva PTAR que tratará cerca de 1,000 l/s está vinculada al desarrollo de 2,560 ha de bosques recreativos y productivos que asumirán todo el costo del tratamiento del agua residual.



Fuente: Google Earth, 2022 y elaboración propia

Municipios como San Antero, planean desarrollar e implementar una barrera corta vientos de 1.4 Km. en la zona perimetral de la PTAR, a fin de reducir el impacto sobre la población ubicada en la parte alta del Municipio y que reclama por la presencia de olores. Además, permitirá dar cumplimiento a requerimientos de compensación forestal establecidos por la autoridad ambiental, como parte de las obligaciones de las licencias ambientales municipales. Existen compromisos nacionales para contribuir a la

mitigación del cambio climático, que pueden ser atendidos mediante la reforestación de áreas donde antes talaron bosques, contribuyendo a la captura de carbono y la emisión de oxígeno para atenuar la contaminación ambiental generada por el parque automotor y otras actividades urbanas.

5.3. Necesidad de tratamiento adicional

Desde el punto de vista de la tecnología utilizada para el tratamiento de las aguas residuales, en las últimas décadas se vienen incorporando procesos cada vez eficientes para lograr que estas aguas recuperen su calidad lo más cercana posible a la fuente original de donde fue captada antes de utilizarse. Este concepto es válido bajo la concepción del saneamiento, que busca recuperar la calidad estipulada por las normas para descargar las aguas residuales en un cuerpo receptor. De hecho, este propósito ha sido aplicado en los países desarrollados, en donde las aguas captadas de un río para atender las necesidades de una ciudad, luego de tratadas son descargadas a la misma fuente para ser nuevamente utilizada varias veces más por las ciudades ubicadas aguas abajo. Queda claro que el concepto de saneamiento define las exigencias para tratar las aguas residuales con el propósito de evitar la contaminación de los cuerpos de agua receptores.

En el caso del objetivo de reusar las aguas residuales en diversas actividades, el objetivo del tratamiento debe ser remover todos los contaminantes que puedan afectar este reúso, especialmente los biológicos que constituyen un riesgo para la salud pública de los usuarios y de los consumidores de los productos regados con estas aguas. Por el contrario, en el caso del reúso para el riego agrícola, forestal y de áreas verdes se trata de aprovechar la materia orgánica y los nutrientes presentes en el agua por el beneficio que otorgan al fertilizar estos cultivos, elementos que el caso de vertimiento a un cuerpo receptor si ocasionan impactos negativos en el ambiente.

En suma, para establecer los objetivos del tratamiento de las aguas residuales se debe

definir claramente su disposición final: vertimiento o reúso, o ambos. Este concepto debe ser asimilado por las entidades que regulan el manejo de las aguas residuales y las normas que se aplican para lograr un reúso seguro y productivo. Por tanto, es conveniente entender que algunas tecnologías de tratamiento son más eficientes para remover elementos contaminantes como sólidos, materia orgánica y nutrientes, mientras que otras se destacan por remover mejor a gérmenes patógenos. Por ejemplo, las lagunas de estabilización diseñadas con largos tiempos de retención son eficientes para remover parásitos y coliformes fecales que representan los patógenos presentes en esas aguas, mientras que no logran reducir notablemente los sólidos disueltos y el DBO, ya que más que remover estos elementos, lo que logran es transformar la materia fecal en una nueva materia orgánica de microalgas. En la práctica estos efluentes son muy apropiados para el riego agrícola porque permite reducir los costos por fertilización química que actualmente tiene costos excesivos.

No necesariamente el reúso demanda un tratamiento adicional, sino exige un tratamiento diferente al usado para fines de vertimiento. Por ejemplo, una PTAR de lodos activados deberá incluir un proceso de desinfección para reducir la concentración de coliformes fecales, proceso que si se realiza con cloración no es el más recomendado cuando el efluente se utiliza en el riego porque puede generar un impacto negativo en la microflora del suelo. Las exigencias del tratamiento estarán en función de los requerimientos de calidad de los diferentes tipos de reúso. Es diferente regar un campo de lechugas que se consumen crudas que un campo de bosque que no se consume. Igualmente, no es igual regar áreas verdes donde las personas tienen contacto directo, que un bosque de esparcimiento donde las personas solo transitan.

Por todo lo expuesto, solo se podrá proponer un tratamiento adicional de las aguas residuales, si la calidad obtenida en la PTAR no cubre las exigencias del tipo de reúso que se pretende implementar. Si se tiene una PTAR de lodos activados es posible que se deba adicionar un proceso de desinfección y de retención de huevos de helmintos.

Un sistema de lagunas facultativas con largos periodos de retención no demandaría esos tratamientos adicionales.

5.4. Infraestructura para el reúso

La infraestructura que se debe implementar para lograr hacer viable el reúso depende de varias condiciones en cada caso, por tanto, depende de:

- + El tipo de reúso y las exigencias adicionales de calidad, que podrían demandar la remoción de algún elemento específico que afecta la productividad.
- + La distancia entre la PTAR y las áreas de riego, que definirá la distancia y dimensiones del sistema de conducción del agua por canales o tubería.
- + Las diferencias de altitud entre la PTAR y las áreas de riego, ya que, si las últimas son las altas, requerirán implementar un sistema de bombeo y almacenamiento.
- + Las necesidades de almacenamiento del agua para facilitar el riego (pequeños reservorios) o guardarla por largos periodos hasta la época de estiaje en que se puede usar (grandes reservorios).
- + La tecnología de riego que define la dotación de agua requerida, tanto para un riego por gravedad (surcos o melgas), como para un riego tecnificado (aspersión y goteo) que demanda implementar:
 - La unidad de filtración y recolección de agua filtrada.
 - El cabezal de riego.
 - La red de riego por mangueras.
 - Los emisores de riego en cada punto de entrega de agua.

Es importante mencionar que, en las experiencias de reúso agrícola, son los propios usuarios lo que han asumido la inversión y mantenimiento de los sistemas de riego

implementados, por tanto, la empresa operadora de la PTAR no debe incluir estos costos en la valorización del agua, salvo que asuma el acuerdo de por lo menos conducir el agua hasta la zona de reúso.

5.5. Costos asociados

Los costos asociados a las propuestas de reúso estarán en función del caudal del efluente de la PTAR actual y proyectado, y por tanto de las etapas de desarrollo del Proyecto de Reúso. En términos generales se deberán realizar las siguientes inversiones:

- + La rehabilitación de la PTAR, a fin de recuperar su capacidad y adecuarla mejor para las exigencias del reúso.
- + La implementación de reservorios para almacenar el agua tratada por periodos cortos y facilitar el riego (pequeños reservorios), o de periodos prolongados para usar el agua en la estación seca (grandes reservorios).
- + El sistema de bombeo, si la zona de riego está destinado a una zona más alta que la PTAR.
- + El sistema de riego elegido: por gravedad o tecnificado (presurizado).
- + La estimación de estos costos dependerá del volumen de agua utilizada y el área de riego definida, tanto en una primera etapa como en las siguientes en que se desarrolle plenamente la capacidad de reúso de la PTAR. Una experiencia exitosa en varios lugares donde se han construido nuevas PTAR, es destinar las antiguas lagunas para el almacenamiento del agua tratada, reduciendo el costo de implementar reservorios.

5.6. Beneficios

Los beneficios potenciales del reúso para la sociedad son múltiples y pueden incluir lo siguiente:

- + Beneficios ambientales y en salud incrementales.
- + Beneficios por liberación de agua fresca (en zonas de escasez son muy altos por costos evitados en presas, trasvases o extracción de agua subterránea).
- + Ahorro en el costo del fertilizante (nutrientes) y, en algunos casos, en el tratamiento de las aguas residuales.
- + Beneficios asociados a la nueva producción (incremento de áreas de cultivo, incremento de producción en general).
- + Mayor confiabilidad en el suministro de las aguas residuales (suministro constante y permanente todo el año).
- + Beneficios por aprovechamiento de subproductos (lodos, gas).

Además, se pueden generar beneficios directos aportados por los Usuarios Receptores (los que reúsan las aguas residuales). Aun cuando en muchos países el agua no tiene precio por ser un bien público, es un hecho que este recurso tiene un valor real cuando está vinculado a la generación de beneficios económicos que consigue el usuario en una actividad comercial rentable.

Por ejemplo, en el Perú empresas mineras y empresas agroexportadoras han estado dispuestas a asumir todos los costos de tratamiento (inversión y operación) de aguas residuales, e incluso efectuar pagos adicionales, a cambio de disponer de determinado caudal para sus actividades productivas.

En el caso colombiano, no es posible transar el recurso, por su naturaleza de bien público, no obstante, en muchos casos existirán importantes beneficios para los Usuarios Receptores que resultaría conveniente captar, aunque sea parcialmente, para cubrir costos de operación y mantenimiento e incluso inversión de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En general, independientemente del marco jurídico, el valor del agua residual cruda o tratada depende el costo de oportunidad que los usuarios definan en función a la actividad que desarrollen. Por ello la metodología de la "disposición a pagar" (DAP) es comúnmente usada para determinar el valor del agua que el agente que reúsa estaría dispuesto a aportar, bajo algún esquema jurídicamente viable en cada caso.

5.7. Actores y posibles clientes para el reúso

Aun cuando está abierta la posibilidad de realizar diferentes tipos de reúso con las aguas residuales, inicialmente se podrían desarrollar proyectos para el riego de cultivos de forrajes de silo, de pastizales naturales para ganadería, de plantaciones forestales y de áreas verdes urbanas, por tanto, los principales actores involucrados son:

Usuarios potenciales:

- + Agricultores de forrajes y otros.
- + Ganaderos con áreas de pastizales naturales.
- + Municipios.

Operadores y reguladores:

- + Empresas prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento.
- + Operadores privados de plantas de tratamientos.
- + Autoridades ambientales - corporaciones autónomas regionales.

Al iniciarse una primera etapa con proyectos piloto y demostrativos, en donde se espera evaluar los beneficios y riesgos del reúso, y luego capacitar a los usuarios potenciales, consideramos clave la participación de la Academia. En la región caribeña colombiana existen por lo menos 12 universidades públicas y privadas que pueden colaborar en la investigación y capacitación de los usuarios, destacando la Universidad de Córdoba por tratarse de una institución orientada a las actividades agropecuarias.



6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL REÚSO EN MONTERÍA

En la visita de campo, se realizó una reunión con los funcionarios de la empresa Veolia, prestadora de los servicios de agua y saneamiento de la ciudad de Montería, que permitió comprender la propuesta de desarrollar un Proyecto Piloto de Reúso con las aguas residuales de esa ciudad.

Esta opción debe analizarse con mayor detalle, y supeditarse a la priorización que se efectúe considerando otras zonas con mayor estrés hídrico como La Guajira.

6.1. Principales cultivos locales

En Montería el 23% del área departamental se concentraba en pastos, con más de 385.000 hectáreas, de los cuales el 94% están cultivados en praderas tradicionales,

siendo el “angleton” la variedad predominante (Viloria, 2004). Sin embargo, existe una muy importante actividad agrícola, principalmente de los cultivos de maíz, el arroz seco, sandía, ñame, yuca, entre otros.

En el caso específico de Proyecto Piloto de Reúso sugerido por Veolia, se ha propuesto concretamente el riego de la zona de cultivo de arroz seco que se muestra en la ilustración 3 y que está ubicado a menos de un kilómetro al este de la PTAR Montería

Ilustración 5: Zona agrícola propuesta para el Proyecto Piloto de Montería



Fuente: Google Earth, 2022 y elaboración propia

6.2. Cantidades disponibles de agua residual

Montería es una ciudad con 490,000 habitantes que con una cobertura universal de agua y saneamiento puede generar 580 l/s de aguas residuales suficientes para regar por lo menos 580 ha de cultivo de arroz seco o un área mayor de otros cultivos. Esta capacidad estaría centrada para regar solo en la estación seca de 4.5 meses (diciembre

a abril), pero además se podría proponer almacenar el agua residual no utilizada en la estación lluviosa para aprovecharla en la seca,

La Empresa Veolia informó que la PTAR ubicada al nordeste de la ciudad está conformada por una unidad antigua de 10 lagunas facultativas que cubren un área total de 27,000 m² y una unidad moderna de filtros percoladores y lodos activados, con capacidad para tratar 300 l/s. Este efluente podría atender actualmente el riego de 300 ha de cultivo de arroz en la estación seca. Una etapa posterior podría buscar el almacenamiento total del efluente durante los 7.5 meses lluviosos, lo cual demandaría reservorios con una capacidad de hasta 5.8 millones de metros cúbicos, que atendería el riego de 500 ha adicionales en la época seca.

6.3. Estándares de calidad requeridos

También los funcionarios de la empresa manifestaron que la nueva unidad de la PTAR logra alcanzar la calidad para el reúso, por lo que asumimos que esta planta opera con un sistema de desinfección que permita lograr un efluente con menos de 1,000 CTT/100 ml adecuado para todo tipo de reúso. Sin embargo, esta exigencia de calidad no aplica para el cultivo de arroz, ya que es un producto alimenticio no consumido directamente porque previamente es sometido a procesos físicos o químicos, además que antes de la cosecha se deja el cultivo sin riego por 15 días para permitir el secado de las plantas en campo, situación que reduce aún más el riesgo de contaminación del arroz con patógenos.

Según la OMS, la mayor exigencia de calidad para el riego con aguas residuales es lograr la remoción de helmintos parásitos humanos, hasta alcanzar menos de un huevo por litro. Es posible alcanzar esta remoción si se logra que las lagunas de estabilización alcancen 10 días de periodo de retención. En este caso, si los 300 l/s pasan por las lagunas solo se tendría 1.3 días de retención. Por tanto, la opción es asegurar que el proceso de tratamiento tenga una unidad de filtración lenta o ultrafiltración. De lo

contrario, solo incorporar a las lagunas hasta 47 l/s para alcanzar 10 días de retención y regar solo 47 ha en la época seca.

En el caso de almacenar el agua durante los 7.5 meses de la estación lluviosa para utilizarla luego en la siguiente época seca, se puede asegurar que el agua no tendrá helmintos por el largo periodo de retención logrado, y que como se dijo antes alcanzaría para regar hasta 500 ha en dicha época seca.

En suma, se propone utilizar las lagunas para tratar solo 47 l/s para alcanzar los 10 días de retención que aseguran la remoción de helmintos y que permitirían regar no más de 50 ha de arroz. Los 253 l/s restantes se podrían utilizar solo si se tratan en la unidad de lodos activados, siempre que esta PTAR tenga un proceso como filtros lentos o ultrafiltración para remover los parásitos. A largo plazo se puede implementar progresiva y gradualmente reservorios, con un potencial máximo de capacidad de almacenamiento de 5.8 millones de metros cúbicos que equivaldría al agua producida en los 7.5 meses lluviosos, para luego regar hasta 500 ha en la época seca con un agua de alta calidad lograda por el extenso período de retención alcanzado.

6.4. Necesidades de tratamiento adicional

Dado que no es conocido si la nueva Unidad de la PTAR de Montería posee un sistema de filtros lentos o ultrafiltración para remover parásitos, por tanto, de no ser así, se tendría que implementar este tratamiento adicional si se quiere usar directamente el efluente de esta Unidad.

Por otro lado, se está proponiendo que las antiguas lagunas de estabilización sean rehabilitadas para usar su efluente en el riego de arroz, pero tratando solamente 47 l/s para alcanzar los 10 días de retención requeridos para la remoción de parásitos, o mejor aún se construyan reservorios para almacenar el efluente durante los 225 días de la estación lluviosa y luego usar ese recurso en la estación seca, lo que implica un largo

periodo de retención que garantiza la total remoción de helmintos y de coliformes fecales.

6.5. Infraestructura para el reúso

La infraestructura que se debe implementar para realizar el riego de los campos de arroz u otros cultivos ubicados a menos de un kilómetro de la PTAR estaría conformada por un canal o tubería principal para el transporte del agua hasta dicha zona agrícola, un sistema de distribución (canales o tuberías secundarias) que se implemente en las parcelas a regar, y un sistema de riego por gravedad mediante melgas o tecnificado por aspersión. Para ambos métodos de riego, y dependiendo de la cota de altitud en la salida del efluente de la PTAR y en el punto de entrega del agua para el riego, se evaluará la necesidad de implementar un sistema de bombeo. Si se opta por un sistema de riego tecnificado, se deberá implementar:

- + La unidad de filtración y recolección de agua filtrada.
- + El cabezal de riego.
- + La red de riego por mangueras.
- + Los emisores de riego en cada punto de entrega de agua.

Por último, la construcción de reservorios también podría ser incluida en la infraestructura de riego. En el punto 5.2 se explicó que para usar totalmente el agua residual generada por la PTAR se tendría que construir reservorios con capacidad de hasta por 5.8 millones de metros cúbicos para regar 500 ha de arroz u otros cultivos en la época seca.

6.6. Costos asociados

Los costos asociados a la propuesta de reúso del efluente de la PTAR de Montería están vinculados a las siguientes inversiones:

- + La rehabilitación de la unidad de lagunas de estabilización, si se desea utilizarla para tratar 47 l/s, que con 10 días de retención logren la remoción de helmintos.
- + El sistema de bombeo, si la zona de riego es más alta que la PTAR.
- + El sistema de riego por gravedad o tecnificado.

La estimación de los costos de esta infraestructura dependerá del volumen de agua utilizada y el área de riego definida, tanto en una primera etapa piloto, como en las siguientes etapas hasta lograr que se desarrolle plenamente la capacidad de reúso del efluente de la PTAR.

6.7. Actores relevantes y posibles clientes

La propuesta del Proyecto Piloto de Reúso de Montería definió que estaría dirigida principalmente a los agricultores de arroz ubicados cerca de la PTAR de Montería; sin embargo, queda abierta la posibilidad que se incluya a otros agricultores dedicados a cultivos diferentes, e incluso a ganaderos que deseen regar sus pastos naturales. Se ha estimado que inicialmente se podría atender los requerimientos de agua en la estación seca de hasta 47 ha dedicadas al arroz. En los siguientes años se propiciaría la construcción de reservorios por parte de los mismos productores, a fin de ampliar el riego de hasta 500 ha de diferentes cultivos, por tanto, todos los usuarios potenciales antes citados se podrían incluir en la lista de clientes.

Respecto a los actores, la primera institución involucrada es la Empresa Veolia que ha lanzado la iniciativa del Proyecto Piloto. El segundo actor evidentemente sería el grupo de agricultores de arroz u otros cultivos. Al inicio serán algunos agricultores que participen en forma independiente, pero en la medida que se consolide la actividad, se debería propiciar que estos productores se organicen bajo la forma de Junta o Comité de Regantes de Aguas Residuales.

Será importante para el Proyecto la participación de la Corporación Autónoma Regional

de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS) para propiciar la aprobación de la licencia de reúso, sustentada al inicio por una etapa experimental. La participación de la Universidad de Córdoba también será esencial por su amplia experiencia en la actividad agropecuaria local. Finalmente, la participación del Municipio de Montería también será clave para lograr un respaldo político a la iniciativa.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

7. EVALUACIÓN DEL REÚSO EN CARTAGENA

7.1. Principales modalidades de reúso

A diferencia del caso de Montería, en Cartagena se ha identificado que el reúso se desarrollaría más por el lado del riego de áreas verdes urbanas. Las entrevistas con la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique), la Empresa Prestadora Aguas de Cartagena (Acuacar) y la Inmobiliaria Serena del mar nos han permitido distinguir las siguientes modalidades de reúso:

- + Riego de áreas verdes internas en instalaciones privadas.
- + Riego de áreas verdes públicas en nuevos desarrollos urbanos.
- + Riego de campos deportivos privados.
- + Riego de áreas verdes públicas de la ciudad.

Respecto a la primera modalidad de riego de áreas verdes internas en instalaciones privadas, actualmente en Cartagena existen muchos casos de hoteles y edificios que tienen miniplantas de tratamiento para tratar sus aguas residuales, que luego utilizan para el riego de sus propias áreas verdes. Se trata de casos que no han solicitado concesiones de reúso en el entendido que están reciclando el agua dentro de la infraestructura de su actividad. Por ello consideran que la concesión de agua debería

ser suficiente para facilitar que estos usuarios reciclen el agua utilizada.

El reúso con perspectivas de mayor magnitud pertenece a la segunda modalidad del **riego de áreas verdes públicas en nuevos desarrollos urbanos**. Este caso se refiere al uso de aguas residuales crudas que la Empresa prestadora Acucar puede ofrecer a las inmobiliarias, autorizando la captación de las aguas del sistema de alcantarillado de la propia urbanización, para ser tratados en plantas compactas implementadas también por las propias inmobiliarias. En la actualidad existen algunos casos en Cartagena que reúsan las aguas residuales generadas en las nuevas urbanizaciones y tal vez el caso más emblemático es el Proyecto Serena del Mar. Se trata de un desarrollo urbano integral de 1,000 ha localizado al norte de Cartagena y colinda con una amplia área de playas. El Proyecto contempla que solo 300 ha serán utilizadas para el desarrollo inmobiliario, por tanto, las otras 700 ha constituyen áreas verdes, que deberán ser mantenidas con las aguas residuales generadas por esa nueva zona urbana, y lagunas naturales que deberán ser mantenidas por esa nueva zona urbana

- + En la tercera modalidad de **riego de campos deportivos** también se trata de utilizar las aguas residuales crudas, que luego de ser tratadas por las instituciones privadas, las utilizan para el riego de los campos deportivos. El caso del Club de Golf en Caribana, en donde la empresa Acucar deriva el agua residual que solo recibió tratamiento primario antes de ser descargada al emisario submarino, para que esta entidad privada la trate hasta lograr la calidad requerida para el riego del campo de golf. Es una situación particular porque la intrusión salina en el acuífero costero de Cartagena genera un ingreso de agua salobre al sistema de alcantarillado, obligando al usuario a seleccionar especies tolerantes a la salinidad, como la grama nativa llamada Gaspal.
- + Las experiencias mencionadas permiten proponer una cuarta modalidad referente al **riego de áreas verdes públicas de la ciudad**, especialmente en la estación seca en que se presenta un déficit hídrico. Sin embargo, actualmente no existe ningún

caso de este tipo, ya que los 28 parques de la ciudad de Cartagena son regados con **agua potable** en esta época seca. Por ello Cardique propone promover la instalación de plantas compactas operadas por el municipio.

7.2. Cantidades disponibles y usadas del agua

La empresa prestadora Acucar actualmente opera 2 plantas potabilizadoras con capacidad para producir 55,000 m³ diarios (637 l/s), capacidad mayor que la actual demanda de la ciudad de Cartagena. Con este abastecimiento de agua, esta ciudad generará hasta **540 l/s de aguas residuales**, equivalentes a 46,750 m³ diarios o 17 millones de m³ anuales aproximadamente que podrían ser tratados para su reúso posterior.

No obstante, en la actualidad la mayor parte de estas aguas residuales reciben un tratamiento primario avanzado en la PTAR Punta Canoas, para luego ser descargadas al mar a través del emisario submarino de Cartagena. Es por ello el que Acucar está propiciando acuerdos contractuales para utilizar las aguas residuales, en lugar de descargarlas al mar, logrando con ello extender la vida útil del emisario. Es el caso de Caribana que recibe 50,000 m³/mes para regar los campos de Golf, volumen que equivale a 20 l/s, apenas el 4% de la oferta de agua residual.

El Proyecto inmobiliario Serena del Mar con 700 ha de áreas verdes y lagunas naturales constituyen una demanda más importante que el caso anterior. Esa empresa actualmente opera 5 mini PTAR provisionales para aprovechar toda el agua residual generada por las unidades urbanas y comerciales. La inmobiliaria está instalando dos PTAR definitivas que deberán tratar las aguas residuales provenientes de los 13,000 m³ (150 l/s) de agua potable abastecidos por Acucar. Se ha estimado un requerimiento diario de 17,000 m³ (200 l/s) para el riego de áreas verdes, 7,000 de ellos para el Golf, por lo que estiman que tendrán un déficit de 4,000 m³/día (50 l/s) para todo el reúso proyectado. Por ello se está planeando recibir ese volumen de agua derivada de la PTAR

Punta Canoas, antes de descargarlas al emisario submarino, pero en este caso se requiere utilizar en el área del Golf especies tolerantes a la salinidad como la grama Gaspal.

En suma, los proyectos de reúso de la Serena del Mar y Caribana utilizarán 220 l/s de los 637 l/s de agua potable que produce Acuarcar actualmente para la ciudad. Quedarían más de 400 l/s que a futuro podrían orientarse al reúso urbano o industrial. En el supuesto que se utilicen los 32,000 m³ diarios sobrantes para el riego de áreas verdes, se podría atender las necesidades de más de 50,000 ha verdes durante toda la estación seca. Compartiendo la propuesta de Cardique, el almacenamiento de estas aguas residuales durante la época de lluvias podría hacerse mediante una descarga a lagunas naturales (ciénagas).

7.3. Estándares de calidad requeridos

Las normas colombianas no especifican los requerimientos de calidad sanitaria para el uso de las aguas residuales en el riego de áreas verdes, por tanto, solo es posible proponer lo que la OMS recomienda para este uso y que se puede diferenciar en 2 categorías:

- Riego de campos deportivos y parques públicos: menos de un huevo de helmintos por litro y menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml.
- Riego de praderas y árboles: menos de un huevo de helmintos por litro.

La diferencia entre estas dos categorías se sustenta en que los campos deportivos y parques públicos son de contacto directo con los usuarios.

7.4. Necesidades de tratamiento adicional

En los dos casos de reúso que se están ejecutando en Cartagena la empresa prestadora Acuarcar oferta el agua residual cruda (sin tratamiento), por tanto, los usuarios

receptores están asumiendo la implementación de las PTAR para su uso en el riego de áreas verdes.

Conceptualmente, en los casos en que se está derivando las aguas de la PTAR Punta Canoas, en donde recibe un tratamiento primario avanzado por mini tamices que retienen sólidos finos antes de descargarse al mar, si se puede hablar de un tratamiento adicional. No obstante, prácticamente se aplica en esas PTAR todos los procesos biológicos, que son más eficientes y cortos al haber recibido un afluente con un pequeño contenido de sólidos sedimentables.

En todos estos casos se recomienda que la aprobación de la concesión de reúso incluya la evaluación del tratamiento propuesto, a fin de garantizar que logran la calidad requerida para tal tipo de reúso.

7.5. Infraestructura para el reúso

Al tratarse en todos los casos de riego de áreas verdes, tanto la conducción como la distribución de las aguas residuales hasta las zonas de riego deberán realizarse a través de tuberías primarias y secundarias. Es recomendable la implementación de un reservorio luego de las PTAR y antes del sistema de conducción, a fin de facilitar las tareas de riego que no necesariamente coincidan con los horarios del sistema de tratamiento. También podrá incluirse sistemas de bombeo, en los casos en que las áreas de riego estén con una altitud mayor que la PTAR.

Asimismo, se recomienda el uso de sistemas de riego presurizados para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua. De hecho, ya en los lugares donde se está regando se han instalado este tipo de sistemas tecnificados por aspersión o goteo. Como todo sistema presurizado, se deberá implementar:

- La unidad de filtración y recolección de agua filtrada.

- El cabezal de riego.
- La red de riego por mangueras.
- Los emisores de riego en cada punto de entrega de agua.

7.6. Costos asociados

Los costos asociados que deberá asumir la Empresa Prestadora Acuacar son los relacionados a la medición de caudal y derivación del efluente para la entrega al usuario, algo que normalmente se realiza en la PTAR. Sin embargo, casos especiales y condiciones del contrato podrían incluir el sistema de conducción hasta la zona de reúso. Por ejemplo, en el caso de Caribana, desde la PTAR Punta Canoas hasta el campo de golf.

En el caso del Proyecto inmobiliario Serena del Mar es la empresa inmobiliaria la que capta el agua residual del sistema de alcantarillado propio y la conduce a sus PTAR y luego a las áreas de riego, por tanto, Acuacar no asume ningún costo asociado. Solo en la propuesta de derivar agua de la PTAR Punta Canoas para llevarla hasta los campos de Golf de Serena del Mar, se está negociando quien asume la inversión para la conducción del agua.

7.7. Precio de mercado

La experiencia de oferta de agua residual al Proyecto inmobiliario Serena del Mar es al parecer el único caso que hasta el momento en Colombia se ha fijado un precio al servicio de entregar agua residual, ya que Acuacar y la Inmobiliaria han acordado un pago equivalente a 180 pesos/m³ (US\$ 0.045/m³) por el agua pretratada en la PTAR Punta Canoas (tratamiento primario avanzado).

La Inmobiliaria ha estimado que el tratamiento adicional (lodos activados y filtración) generará un costo de 700 pesos/m³ (US\$ 0,175/m³) de agua tratada. El costo total del agua tratada será de 880 pesos/m³ (US\$ 0.22/m³) que para muchos podría ser considerado alto, sin embargo, es menor que los 2,000 pesos/m³ (US\$ 0.50/m³) pagados por el agua potable, que es la otra opción para regar las áreas verdes.

Del análisis de costos anterior se puede deducir que aun cuando la ciudad de Cartagena tiene una oferta de agua potable mayor que su demanda, y que por ello actualmente riegan con esa fuente las áreas verdes en la estación seca, es más económico optar por el agua residual tratada. Claro que desde la mirada de Acuacar es más rentable vender agua potable que agua residual.

7.8. Ingresos por tarifa de los prestadores

De la evaluación antes realizada, se puede decir que la Empresa prestadora Acuacar ya tiene una tarifa para la oferta del agua residual pretratada. Aún no se sabe si en el caso de Serena del Mar también negociara una tarifa por el agua cruda, algo que tiene menos justificación ya que la recolección y tratamiento de esta agua la realiza la misma inmobiliaria.

Haciendo una proyección de la oferta de las aguas residuales sin tratamiento o con pretratamiento que dispondría Acuacar, en el supuesto que a futuro logre ofertar los 17 millones de m³ que produce anualmente al valor fijado actualmente, los ingresos por ese rubro podrían llegar a ser de 11,900 millones de pesos, equivalente a casi US\$ 3 millones anuales.

Además, Acuacar se beneficiaría por el costo evitado del tratamiento primario y la descarga por el emisario submarino del volumen que consiga ofertar para el riego de áreas verdes. En todo caso, alargaría la vida útil de la capacidad de descarga del emisario.

7.9. Actores relevantes y posibles clientes

De hecho, en el caso de Cartagena, los clientes actuales y potenciales de Acuacar son las empresas inmobiliarias e instituciones que poseen campos deportivos. A ellos se podría sumar los municipios de la ciudad de Cartagena que podrían usar las aguas residuales para el riego de sus áreas verdes urbanas, especialmente en época seca.

De hecho, los principales actores son clientes actuales y potenciales y la empresa prestadora Acuacar. Otro actor clave es la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique), quien tiene el rol de aprobar las licencias de uso de aguas residuales y la fiscalización de estos casos de reúso.

Aun cuando no está bien definido, otros actores que se podrían incluir son hoteles y edificios que tienen miniplantas para tratar sus aguas residuales, con las que riegan sus áreas verdes internas.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of blue and green, positioned at the top left of the page.

8. EVALUACIÓN DEL REÚSO EN BARRANQUILLA

La situación del reúso en Barranquilla abarca más modalidades porque incluye, tanto las propuestas para Montería como para Cartagena, en la medida que la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla (Triple A) y Aguas del Sur prestan servicios de agua y saneamiento en 14 municipios, además de la ciudad de Barranquilla.

8.1. Principales modalidades de reúso

Las modalidades de reúso en Barranquilla se podrían clasificar en dos grupos de la forma siguiente:

Para los Municipios pequeños:

- Riego de pastizales naturales en los potreros ganaderos.
- Riego de cultivos agrícolas, especialmente forraje de silo.

Para la ciudad de Barranquilla:

- Riego de áreas verdes internas en instalaciones privadas.
- Riego de campos deportivos privados.
- Riego de áreas verdes públicas de la ciudad.

- + De hecho, el departamento Atlántico, al igual que toda la Región Caribe de Colombia tiene una actividad ganadera de importancia. Como se ha reportado en la tabla 1, el Tercer Censo Agropecuario de Colombia realizado en 2014 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) indica que el departamento Atlántico maneja 215,509 cabezas bovinas, que representa el 3.3% de la producción de la Región Caribe y 1% de la producción nacional (DANE, 2014). Igualmente reporta que esta producción pecuaria se realiza en 7,095 unidades de producción agropecuaria (UPA), que deben representar alrededor de 35,000 ha de potreros con pastos natural. Al igual que Montería y el resto de la Región Caribe, los ganaderos de este departamento no pueden criar su ganado en la época seca. Por tanto, el reúso de las aguas residuales es una opción para regar estos potreros o producir forrajes silo para atender las necesidades de alimentación de dicho ganado en la mencionada época.
- + La Corporación Autónoma Regional del Atlántico (Car Atlántico) informó que los municipios de Galapa, Luruaco y Caravaca utilizan los efluentes de las PTAR de lagunas para riego agrícola. Además, consideran que todas las PTAR de los diferentes municipios, cuyos servicios de saneamiento son operados por la Triple A y Aguas del Sur podrían ofrecer sus efluentes para el riego de pastizales en las zonas ganaderas vecinas. La empresa prestadora Triple A que operan en Barranquilla y 14 municipios manifiestan que tienen un potencial para reusar aguas residuales y lodos, sin embargo, esta actividad está limitada debido a que las PTAR no cumplen con las exigencias de la norma, por lo que se requiere mejorar el tratamiento.
- + También los funcionarios de la Car Atlántico informaron que formalmente han aprobado 3 concesiones de reúso, pero que existen muchos otros casos no formalizados. En todos los casos se trata del reúso para el riego de áreas verdes internas en instalaciones privadas y se estima que hay 40 edificios que tratan y reúsan para regar sus áreas verdes.
- + La ciudad de Barraquilla utiliza como fuente de agua al río Magdalena, ya que es

permanente y tiene una calidad adecuada por su gran caudal, incluso en la estación seca, por lo que no justifican el uso de las aguas residual. Sin embargo, la Triple A opera la PTAR de lagunas El Pueblo que actualmente trata 1,000 l/s y vierte sus efluentes en un arroyo, recurso que podría usarse para el riego de un Club de Golf, las áreas verdes y las lagunas recreativas de sur occidental de la ciudad durante la época seca.

- + Al disponer de un recurso hídrico abundante y permanente como el río Magdalena, la Triple A no tiene limitación de abastecimiento ni siquiera en la estación seca, por tanto, la promoción del reúso para el riego de las áreas verdes urbanas se tendrá que sustentar más en el aprovechamiento de la materia orgánica y nutrientes contenidos en las aguas residuales, que reducirían los costos de mantenimiento al lograr un ahorro por la fertilización química. No se puede dejar de recordar que las fuertes precipitaciones en 7.5 meses del año provocan una remoción de los nutrientes en los suelos, por tanto, es indispensable fertilizar frecuentemente para mantener en buen estado los cultivos agrícolas, pastizales naturales y áreas verdes urbanas.

8.2. Cantidades disponibles de agua

No se dispone de información sobre el volumen de aguas residuales que genera la ciudad de Barranquilla, pero con una población actual de 1.2 millones de habitantes, una dotación de agua de 120 l/habitante por día, una cobertura de 80% y una recuperación en el alcantarillado de 85%, se puede estimar que el caudal de aguas residuales podría llegar a 98,000 m³ diarios (1,130 l/s), volumen suficiente para regar más de 1,000 ha de bosques y áreas verdes durante el tiempo de sequía. En el caso de que se almacene el agua residual tratada en lagunas (ciénagas) durante la estación lluviosa, el volumen retenido permitiría regar 1,900 ha de bosques y áreas verdes.

Tampoco se tiene información de los municipios rurales operados por Triple A y Aguas del Sur, pero la primera empresa informó que la PTAR de Tubará tiene capacidad para tratar 18 l/s y la PTAR Polo Nuevo recibe 35 l/s, aun cuando está sobrecarga porque su capacidad es de 25 l/s. Haciendo una extrapolación a los 14 municipios operados con un promedio de 30 l/s se puede deducir que la zona dispondría en total de aproximadamente 420 l/s, caudal que podrían reusarse en 400 ha para mantener pastos naturales en la estación seca o producir forraje de silo.

8.3. Estándares de calidad requeridos

Como ya hemos discutido para los casos de Montería y Cartagena, la calidad sanitaria recomendada por la OMS para las diferentes modalidades de reúso se centra en los límites para dos categorías que se explican en el cuadro 2 y que incluyen todas las modalidades propuestas antes para Barranquilla.

Reiteramos la OMS propone el límite de menos de un huevo de helmintos que en todos los tipos de reúso propuestos, lo que implica aplicar un proceso de tratamiento que logre una total remoción de estos parásitos. La exigencia adicional de menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml se aplica solo para los cultivos agrícolas de consumo humano crudo y de áreas verdes con contacto directo, como campos deportivos y parques públicos.

Tabla 7: Límites recomendados por la OMS para el reúso de las aguas residuales

Categoría	Tipo de reúso	Helmintos (huevos/L)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
Riego irrestricto	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas verdes con contacto directo • Campos deportivos 	Menos de 1	Menos de 1,000

Categoría	Tipo de reúso	Helmintos (huevos/L)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos agrícolas de consumo crudo 		
Riego restringido	<ul style="list-style-type: none"> • Pastizales naturales en potreros de ganado • Cultivos agrícolas no consumidos crudos • Forraje de silo para consumo animal • Áreas verdes sin contacto directo 	Menos de 1	No aplica

Fuente: OMS, 1989 y elaboración propia.

En la normatividad colombiana, la Resolución 1256 indica que para el riego agrícola se debe cumplir el artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076, el cual solo exige menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml para el riego de frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, límite que no aplica para el resto de los cultivos. La norma no establece criterios específicos de calidad para el riego de áreas verdes, ni tampoco incluye el parámetro de huevos de helmintos.

8.4. Necesidades de tratamiento adicional

En los municipios que tienen lagunas de estabilización y alcanzan más de 10 días de retención no se requeriría un tratamiento adicional para regar pastos naturales que alimenten el ganado vacuno, ni para el cultivo de forrajes silo u otros cultivos que no sean frutas que se consumen sin quitar la cáscara y hortalizas de tallo corto.

Es probable que si se requiera un tratamiento adicional en las PTAR de lagunas y de lodos activados que no alcancen efluentes con menos de 1,000 coliformes fecales por

100 ml para el riego de áreas verdes de contacto directo. Para el mismo tipo de reúso, también se deberá adicionar un proceso de remoción de helmintos (filtros lentos o ultrafiltración) en las plantas de lodos activados, y en el caso de lagunas ampliar sus capacidades hasta alcanzar 10 días de periodo de retención.

8.5. Infraestructura para el reúso

La infraestructura que se debe implementar para realizar el riego de pastos naturales en potreros o cultivos de forrajes silo u otros cultivos estaría conformada por un canal o tubería principal para el transporte del agua hasta dicha zona agrícola o de potreros, un sistema de distribución (canales o tuberías secundarias) que se implemente en las parcelas o potrero a regar, y un sistema de riego por gravedad mediante melgas o tecnificado por aspersión y goteo. Para ambos métodos de riego, se requerirá implementar un sistema de bombeo, si la cota de altitud en la salida del efluente de la PTAR es menor que en el punto de entrega del agua para el riego.

Si se opta por un sistema de riego tecnificado para el reúso agrícola o el riego de áreas verdes, se deberá implementar:

- La unidad de filtración y recolección de agua filtrada.
- El cabezal de riego.
- La red de riego por mangueras.
- Los emisores de riego en cada punto de entrega de agua.
- En ambos casos, la construcción de reservorios también podría ser incluida en la infraestructura de riego para lograr usar totalmente el agua residual generada por las PTAR y aprovecharlas en la época seca. Dependiendo del lugar y relieve del terreno se podrá aprovechar las

lagunas naturales o ciénagas para efectuar dicho almacenamiento.

8.6. Costos asociados

Los costos asociados a las diferentes propuestas de reúso estarán vinculadas a las siguientes inversiones:

- La rehabilitación de la PTAR en los municipios donde se han deteriorado, a fin de recuperar su capacidad de diseño.
 - La ampliación de la PTAR si está operando sobrecargada por recibir caudal mayor al establecido para el diseño.
 - Rehabilitación o ampliación de la PTAR para alcanzar 10 días de retención en lagunas o la incorporación de un proceso para remover helmintos (filtros lentos o ultrafiltración) en plantas de lodos activados.
 - El sistema de bombeo, si la zona de riego es más alta que la PTAR.
 - El sistema de riego elegido por gravedad o tecnificado.
- + En la mayoría de los casos de reúso, los costos para implementar los sistemas de riego son asumidos directamente por los usuarios y no por la empresa prestadora. Por tanto, es probable que las empresas Triple A y Aguas del Sur solo tengan que asumir los costos relacionados a la medición de caudal y derivación del efluente para la entrega al usuario, salvo casos especiales en que se acuerde que estas empresas asuman la conducción del agua hasta la zona de reúso, y por tanto se incluya en la tarifa a ser pagada por el usuario. La estimación de los costos de esta infraestructura dependerá del volumen de agua utilizada y del área de riego definida.

8.7. Precios de mercado

El precio del agua residual en el mercado colombiano aún no se ha definido, debido a las pocas experiencias desarrolladas hasta la fecha, por tanto, es probable que en una

primera etapa no se asigne un precio al agua, hasta que los usuarios comprueben los beneficios que consiguen por utilizar este recurso en la época seca. Después de un Proyecto Piloto de Reúso, los productores podrán apreciar las ventajas de disponer de agua en la época seca y la mejora de su productividad por el aporte de nutrientes, que de hecho reducirá sus costos por fertilización. Luego de algún tiempo de lograr un reúso exitoso, las empresas Triple A y Aguas del Sur podrán evaluar la demanda potencial que le permita establecer tarifas viables para ofertar el efluente de sus PTAR.

La tarifa de **180 pesos/m³** (US\$ 0.045/m³) por el uso de agua cruda o pretratada acordada entre Acuacar y el Proyecto inmobiliario Serena del Mar en Cartagena es una buena referencia para que la Triple A proponga en Barranquilla una tarifa para el mismo tipo de agua residual. La tarifa para agua residual tratada evidentemente es más alta, ya que debe cubrir parcial o totalmente la operación y mantenimiento de las PTAR. Igualmente, las tecnologías de tratamiento más complejas, como los lodos activados, elevaran dicha tarifa. Al respecto, el Proyecto inmobiliario Serena del Mar ha estimado un costo de **700 pesos/m³** (US\$ 0,175/m³) **para el agua tratada** en sus PTAR de lodos activados y filtración, referencia también importante para Barranquilla.

Si bien la Triple A que presta servicio de agua y saneamiento a la ciudad de Barranquilla no tiene limitaciones por disponer de suficiente agua del río Magdalena, y por ello las áreas verdes urbanas se riegan con agua potable en la estación seca, los municipios potencialmente usuarios deberían entender que usar aguas residuales es menos costoso que el agua potable. La inmobiliaria Serena del Mar que reporta una tarifa de agua potable de 2,000 pesos/m³ (US\$ 0.50/m³), valor bastante mayor que el costo de 700 pesos/m³ (US\$ 0,175/m³) por tratar sus aguas residuales.

8.8. Ingresos por tarifa de los prestadores

Teniendo en cuenta la proyección de la oferta de 98,000 m³ diarios (1,130 l/s) de las aguas residuales generadas por la ciudad de Barranquilla y asumiendo una tarifa de 700

pesos/m³ (US\$ 0,175/m³), se puede estimar que la Empresa prestadora Triple A podría generar 25,000 millones de pesos anuales (US\$ 6.3 millones/año), si lograra comercializar toda su producción para el reúso industrial o el riego de áreas verdes.

Por otro lado, las empresas prestadoras Triple A y Aguas del Sur, luego de demostrar los beneficios de reusar las aguas residuales en el riego de pastos y cultivo de forraje silo, podrían establecer una tarifa más sustentada. En el supuesto que cobre solo 180 pesos/m³ (US\$ 0.045/m³) cuando trate en lagunas, la empresa podría recabar anualmente hasta casi 2,400 millones de pesos (US\$ 595,000/año) por la venta de los 13.3 millones de m³ anuales producidos (420 l/s).

8.9. Actores relevantes y posibles clientes

En el ámbito de los municipios rurales, los clientes potenciales de las empresas Triple A y Aguas del Sur serían los propietarios de las 7,095 unidades de producción agropecuaria (UPA) que se dedican a la ganadería bovina en el departamento Atlántico. En la ciudad de Barranquilla, los clientes de la empresa Triple A serían los municipios urbanos que actualmente riegan sus áreas verdes públicas con agua potable.

Además de los clientes antes mencionados, los otros actores principales son las empresas prestadoras Triple A y Aguas del Sur, a quienes se sumaría la Corporación Autónoma Regional Atlántico, por ser la autoridad ambiental que otorga las licencias de reúso. También en este caso sería conveniente involucrar a una universidad local vinculada a las actividades agropecuarias.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of blue and green, positioned at the top left of the page.

9. SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL REÚSO EN GENERAL

Para la elaboración de esta evaluación se ha tenido como referencia la información recopilada, tanto en los términos generales de los avances para promover el reúso en Colombia, como en las más específicas que sustentan la propuesta de reúso en San Antero. Se ha clasificado esta información en tres grupos:

- Información levantada de la consultoría realizada para el Proyecto Piloto de Reúso en San Antero.
- Información sobre la evolución de la normatividad colombiana sobre el reúso en agricultura.
- Información recopilada de las instituciones entrevistadas y las visitas realizadas en el viaje del 2 al 6 de mayo de 2022.

9.1. Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero

El Proyecto Crew+ ha realizado una consultoría para elaborar una Propuesta Preliminar que permita implementar un Proyecto Piloto de Reúso en el Municipio de San Antero, por tanto ha elaborado dos informes de esta fase preliminar:

- Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero, versión completa
- Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero, versión corta

A continuación, se resume la información más relevante identificada en ambos informes.

9.1.1. Información sobre el Municipio de San Antero

El Municipio de San Antero está ubicado en la Región del bajo Sinú, en la costa del Mar Caribe, por tanto se trata de una zona cálida, de topografía bastante quebrada y ondulada y de tierras fértiles para la agricultura.

El sistema de alcantarillado de San Antero es sanitario y el prestador reporta una cobertura del 85% de la población para este servicio público, lo que implica que de 16,555 habitantes de la zona urbana, solamente 14,072 de ellos tienen acceso al servicio de alcantarillado, y de estos, aproximadamente 13,650 constituyen la población aportante a la PTAR de San Antero. Se ha proyectado que para el 2045 el municipio alcanzaría una población de 25,402 habitantes.

La principal actividad económica de San Antero es la agricultura de maíz, arroz seco, sandía, ñame y yuca, luego le sigue la actividad pecuaria centralizada en la ganadería vacuna. Además existen algún desarrollo de las actividad pesquera, comercial y turística.

Un limitante permanente que tienen las actividades agropecuarias es la escasa disponibilidad de agua en la estación de estiaje (seca) que se presenta entre los meses de diciembre a marzo, por lo que el reúso de las aguas residuales tratadas es una opción para minimizar este grave problema.

9.1.2. Características de la PTAR de San Antero

El Municipio de San Antero actualmente cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) conformada por dos lagunas de estabilización facultativas y

una laguna de maduración. Con un caudal de diseño de 25 l/s (2,160 m³/día), estas lagunas tienen las dimensiones y capacidades que figuran en tabla 1.

Tabla 8: Dimensiones y capacidades de las lagunas de la PTAR San Antero

Laguna	Espejo de agua (m ²)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Tiempo de retención (días)
Facultativa 1	17,512	1.5	26,268	12
Facultativa 2	9,973	1.5	14,959	7
Maduración	9,808	1-3	12,750	6

Fuente: Crew+, 2021. Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero

Con una población actual aportante a la PTAR de 13,650 habitantes, la planta recibe un caudal promedio de 20 l/s (1,728 m³/día), equivalente al 80% de su capacidad de diseño. La fuente receptora del vertimiento de la PTAR es el denominado Arroyo Cardales. También se ha estimado que al 2045 la población de San Antero generaría un caudal de 30 l/s.

La única información sobre la calidad sanitaria del efluente de la PTAR reporta una concentración de coliformes termo tolerantes (CTT) de 4.5E+3 NMP/100 ml, valor algo superior al máximo establecido por la norma para el riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, por tanto se asume que el resto de cultivos si se pueden regar con esa calidad. Sin embargo, para cumplir con los valores máximos permisibles de *Estreptococos* fecales y los demás microbiológicos, la propuesta de rehabilitación de la PTAR ha propuesto implementar un sistema de desinfección mediante cloración, que permita garantizar un valor de cloro residual total de < 1,0 ppm de cloro.

Por otro lado, el estudio también indica que el DBO₅ de 114 mg/L supera el límite de 90 mg/L estipulado en norma de vertimiento, en el entendido que se realizará esa disposición final de parte del efluente no utilizado en el reúso, especialmente en el

periodo de lluvias.

9.1.3. Propuesta de rehabilitación de la PTAR San Antero

La Propuesta de rehabilitación de la PTAR para garantizar la calidad del efluente requerido por el reúso propuesto, incluye las actividades que se enumeran en la tabla 2.

Tabla 9: Actividades y costos para la rehabilitación de la PTAR San Antero

Componente	Actividad	Valor estimado (COP)
Pretratamiento	Reposición de rejilla	\$1.000.000
	Reposición del vertedero triangular que permite el aforo de caudal del afluente	\$3.000.000
	Reposición de la tubería de ingreso del afluente a la laguna facultativa primaria de tal manera que se garantice la distribución del agua en el fondo de la laguna	\$15.000.000
Lagunas	Dragado y disposición final de sólidos acumulados en la laguna facultativa primaria.	\$760.000.000
	Limpieza de malezas y poda de árboles ubicados en los bordes de las lagunas	\$30.000.000
	Reposición de las ruedas de manejo de las compuertas de emergencia de las lagunas 2 y 3. Mantenimiento y engrase de los vástagos y cuerpos.	\$3.000.000
	Instalación de Canaleta Parshall prefabricada a la salida de la laguna de maduración.	\$5.000.000
Tratamientos complementarios	Construcción de lechos de secado de lodos que permitan la digestión y el tratamiento de los residuos sólidos generados del plan de mantenimiento del sistema de tratamiento.	\$15.000.000*
	Limpieza del tramo de canal perimetral revestido que se encuentra totalmente obstruido por tierra y material vegetal.	\$8.000.000
Total estimado COP		COP\$840.000.000
Total estimado USD		USD\$222.799,9
Total estimado EUR		€187.408,3

Fuente: Crew+, 2021. Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero

Como se puede observar, el costo total de la rehabilitación de la PTAR se ha estimado preliminarmente en US\$ 222,800, de los cuales el 90.5% corresponde al dragado y

disposición final de los lodos de la laguna primaria, actividad que podría ser revisada para proponer una alternativa de menor costo.

9.1.4. Probabilidades de reúso del efluente de la PTAR San Antero

En base al análisis realizado por los actores principales representados por el Municipio de San Antero y los agricultores aledaños a la PTAR San Antero, el estudio ha evaluado las siguientes alternativas de reúso:

- **Cultivo de pastos y forrajes para consumo animal:**

Los propietarios de los predios aledaños se muestran interesados por la implementación del riego de pasturas en sus potreros de ganado vacuno; sin embargo, no están dispuestos a realizar la inversión que se requiere para acondicionar el sistema productivo a los requerimientos de la normatividad, tales como efectuar la rotación de potreros para cumplir con los 15 días de espera para el consumo.

El Municipio considera viable la siembra de pasto de corte de la variedad King Grass para ensilaje (silo), como una medida que les permitirá cumplir con los requerimientos normativos. Por tanto propone el uso de los recursos propios que actualmente es destinado a la compra de forraje silo que se entrega a los pequeños ganaderos. Existe el compromiso del Municipio de poner en marcha esta estrategia productiva en los propios predios del municipio.

- **Cultivos no alimenticios para humanos o animales:**

No existe cultura en los predios agrícolas del municipio sobre la implementación de este tipo de cultivos (tabaco, flores, lavanda, etc.) y la radiación solar es demasiado alta para lograr una buena productividad de estos.

- **Cultivos de fibras celulósicas y derivados:**

Estos cultivos (lino, cáñamo, yute) no son tradicionales en la zona, por lo que al igual

que el anterior, no existe una cultura para promover su producción. El cultivo de algodón que si podría considerarse adecuado para la zona, requerirá el establecimiento de amplias áreas para ser rentable y se verá limitado por la capacidad del sistema de riego en época seca.

- **Cultivos para la obtención de biocombustibles:**

No existen cultivos de este tipo establecidos en la zona, ni tampoco industrias transformadoras cercanas.

- **Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles:**

Estos cultivos se consideran viables para dar cumplimiento a las compensaciones forestales que debe realizar la administración municipal en las áreas aledañas a proyectos donde se haya necesitado licencia ambiental.

Si se usaran especies locales con valor comercial, se podrían registrar estas plantaciones ante el ICA para ser aprovechadas en un futuro. Se propusieron las siguientes especies: Guacamayo (*Albizia niopoides*), aceituno (*Vitex cymosa*), roble (*Tabebuia rosea*), divi (*Caesalpinia coriaria*), caracoli (*Anacardium excelsum*), iguá amarillo (*Pithecellobium guachapele*). En caso se promueva esta opción de reúso, se tendría que contar con la asistencia técnica necesaria para realizar el establecimiento y manejo silvicultural a las plantaciones.

También la Propuesta de Reúso propone establecer una barrera cortavientos permanente (con follaje en época seca y en época de lluvia) alrededor de la PTAR, con el fin de impedir que la brisa marina lleve los malos olores de la PTAR a la zona urbana.

- **Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos:**

No existe industria en la zona que permita la transformación y generación de valor agregado a estos productos alimenticios.

- **Mantenimiento de áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato:**

Es posible usar las aguas residuales tratadas para mantener en óptimas condiciones y durante todos los meses del año la grama y las áreas verdes de los nuevos estadios de beisbol y futbol. Sin embargo, estos escenarios deportivos quedan distantes de la PTAR y se requeriría redes extensas de transporte y un sistema de impulsión potente. Una alternativa es usar camiones cisterna (carrotanque).

- **Jardines en áreas no domiciliarias:**

Se tienen jardines en áreas públicas al interior del casco urbano que podrían ser regadas con aguas residuales en la época seca.

- **Uso industrial:**

En el municipio de San Antero no existen industrias que pudieran utilizar las aguas residuales tratadas, por tanto es una opción descartada por el momento.

9.1.5. Opciones recomendadas para el Proyecto piloto de reúso

Las opciones recomendadas se han elegido en función a la disponibilidad de los terrenos de propiedad del Municipio de San Antero en las zonas aledañas a la PTAR, a la disposición de implementar los cultivos, a la necesidad de garantizar el funcionamiento del sistema de reúso y la de acompañar el normal desarrollo del proyecto.

Los predios del Municipio en la zona de la PTAR llegan a las 26.55 ha, de las cuales debe descontarse 5.35 ha que corresponden al área de las lagunas y otras 5 Ha más que se tienen disponibles para otros usos. Por tanto, el área total disponible actualmente para implementar el Proyecto de Reúso es de 16.20 ha distribuidas efectivamente de la forma siguiente:

- Área actualmente en uso agrícola: 4.67 ha.

- Área susceptible de uso agrícola: 2.47 ha.
- Área proyectada para expansión es de 3 ha.

El área restante corresponde a franjas de protección y conservación del arroyo Cardales, rastros, área aledaña a las lagunas de oxidación y una franja que la Alcaldía considera pertinente dejar porque colinda con un asentamiento subnormal cercano.

Las opciones seleccionadas para este Proyecto Piloto son las siguientes:

- **Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal:**

Se han identificado tres lotes que suman 3.72 ha para cultivo de los pastos de corte para ensilaje King Grass, Mombasa y Bachiarias. Esta actividad estaría a cargo de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), bajo el modelo de comodato que maneja la alcaldía con organizaciones de productores del municipio.

En el pre dimensionamiento realizado por estudio se ha propuesto instalar 850 m de redes principales en PVC con tres derivaciones en manguera por cada lote de 100 m cada uno, y de terminales de riego en manguera para garantizar que el usuario receptor guarde las distancias mínimas de 30 m de radio a zonas de acceso peatonal mientras se realiza el riego.

- **Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles:**

Se ha propuesto implementar 1.4 Km de barrera corta vientos en doble surco por la zona perimetral de la PTAR, a fin de reducir el impacto sobre la población ubicada en la parte alta del Municipio y que reclama por la presencia de olores agresivos generados en la PTAR en época de verano. De esta forma también se daría cumplimiento a requerimientos de compensación forestal establecidos por la autoridad ambiental, como parte de las obligaciones de las licencias ambientales del municipio de San Antero.

El estudio propone la conformación de 2 a 3 hileras, utilizando árboles y arbustos con una distribución de forma trapezoidal y densidad en la madurez del 50% al 60%, lograda

por separaciones de 1 a 2 m entre arbustos y de 2 a 3 m entre árboles de hasta 10 m de altura. Se recomienda sembrar especies adaptadas a la zona, de rápido crecimiento y follaje todo el año. Los arbustos recomendados son: matarratón o limoncillo o cualquier especie protectora/productora. Se ha estimado que en la franja de 1.4 km se instalarían dos hileras de 466 árboles y una de 700 arbustos.

También se ha propuesto implementar una hilera maderable con distancia de 3 m de las especies Guacamayo (*Albizia niopoides*), aceituno (*Vitex cymosa*), roble (*Tabebuia rosea*), divi (*Caesalpinia coriaria*), caracoli (*Anacardium excelsum*) e iguá amarillo (*Pithecellobium guachapele*).

9.1.6. Sistema de riego para el Proyecto piloto de reúso

La principal modificación en el sistema de riego existente sería en la ubicación de las redes de riego, para lo cual se instaría una tubería de impulsión que conduce el agua desde la captación hasta los lotes. Las tuberías primarias serían de PVC y las secundarias de polietileno.

Específicamente para las áreas consideradas en el Proyecto Piloto de Reúso se instalaría un sistema de riego tecnificado compuesto por un tanque de cloración, una unidad de filtración, una unidad de recolección de agua filtrada, un cabezal de riego, una red de riego y emisores de riego. Los costos estimados preliminarmente para el sistema de riego serían de 72,000,000 pesos o USD 19,100 o 16,100 euros, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 10: Componentes y costos sistema de riego del Proyecto Pilo de Reúso en San Antero

Componente	Valor estimado (COP)
Unidad de filtración	\$15.000.000
Tanque de cloración	\$5.000.000
Unidad de recolección de agua filtrada	\$5.000.000

Caseta de operación	\$9.000.000
Cabezal de riego	\$25.000.000
Red de riego	\$10.000.000
Emisores de riego	\$3.000.000
Total estimado COP	\$72.000.000
Total estimado USD	US\$19.096,4
Total estimado EUR	€16.063,6

Fuente: Crew+, 2021. Informe final de la consultoría sobre reúso en San Antero

9.1.7. Conclusiones del Estudio

- El proyecto de reúso es viable para la implementación de sistemas productivos como el cultivo de pasto de corte para ensilaje que permita el posterior consumo animal y el establecimiento de cultivo forestal.
- Existe total disponibilidad y compromiso de la Administración Municipal de San Antero para mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio y aportar a la descontaminación del sistema manglar en la bahía de Cispatá.
- Se debe consolidar el compromiso del operador del sistema de tratamiento en el cumplimiento del plan de mantenimiento y operación del sistema lagunar.
- Aunque el área susceptible de riego con el caudal mínimo del efluente de la PTAR, equivale a 17,350 m², debe considerarse que podrían manejarse el riego de manera continua si se establecen frecuencias de riego que podría ser por horas o por días.

9.2. Normas sobre reúso

9.2.1. Resolución 1256 (2021) - Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas

El Documento CONPES 3934 de 2018 sobre “Política de crecimiento verde” elaborado por el DNP establece dentro de sus líneas de acción, la promoción del uso del agua residual tratada como una estrategia para promover la bioeconomía. La Estrategia Nacional de Economía Circular formulada por el Gobierno Nacional en el 2019, también contempla el reúso como una práctica para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.

La Resolución 1256 de 2021 establece las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas. Sin embargo, indica que no aplica para el uso de las aguas residuales como fertilizante o acondicionador de suelos. También establece que se requiere una concesión de aguas para adquirir el derecho al uso de las aguas residuales como bien de uso público y que las cantidades (volumen o caudal) de agua requeridas para el reúso está sujeto a la disponibilidad definida por parte del Usuario Generador. Igualmente indica que el Usuario Receptor de Aguas Residuales es responsable del cumplimiento de las disposiciones establecidas en la presente resolución.

El Artículo 5, sobre los usos y los criterios mínimos de calidad, indica que las aguas residuales se podrán usar en la agricultura y en la industria, según los artículos 2.2.3.3.2.5 y 2.2.3.3.2.8 del Decreto 1076 de 2015 o la norma que los modifique adiciona o sustituya. Los criterios de calidad del agua residual para el uso agrícola deberán cumplir con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.9.5 también del Decreto 1076 de 2015 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, así como, con los criterios establecidos en la presente resolución.

El Artículo 6, sobre la Prevención, menciona que para efectos del otorgamiento de la concesión de uso de las aguas residuales, el Usuario Receptor deberá presentar a la Autoridad Ambiental, la siguiente información técnica para el manejo y la prevención de los riesgos asociados al uso de las aguas residuales:

- El Balance Hídrico del sistema de reúso donde contemple el volumen entregado por el Usuario Generador.
- Identificación de los riesgos potenciales a los recursos naturales renovables derivados del uso de las Aguas Residuales.
- Medidas preventivas que se deben aplicar para evitar los riesgos potenciales identificados, con sus respectivas actividades para seguimiento.
- Para el uso agrícola se exige:
 - Una evaluación de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, a escala 1:25.000 o de mayor detalle.
 - Un plan de monitoreo y seguimiento de la calidad y cantidad del agua residual empleada en el reúso, el cual identifique entre otros elementos el Punto de Control y el Punto de Entrega. La Autoridad Ambiental definirá la frecuencia del monitoreo de calidad en el acto administrativo mediante el cual se pronuncie.
 - Demostrar mediante mediciones in situ, la velocidad de infiltración en el suelo u otros procedimientos técnicamente establecidos por la ciencia y la técnica, que las cantidades de agua y los tiempos de aplicación en los diferentes períodos estacionales, satisfacen los requerimientos de agua del suelo y/o del cultivo y que no se generan cantidades excedentes de la misma como escorrentía o percolación. En este sentido para el uso agrícola, las tasas de aplicación ($m^3/día-ha$) y el tiempo de aplicación ($días/año$) del agua residual no deben ocasionar cambios en la salinidad, sodicidad y toxicidad del suelo que limiten, restrinjan o impidan los usos agrícolas actuales y potenciales del área de aplicación, teniendo como directrices por tipo de cultivo las establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR o las de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAO.

9.2.2. Decreto 1076 (2015). Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

El Artículo 2.2.3.3.2.5. sobre el uso agrícola, indica que se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, haciendo referencia a su vez al Decreto 3930 de 2010, art. 13: Uso agrícola. Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

El Artículo 2.2.3.3.9.5. Transitorio, establece los siguientes criterios de calidad para uso agrícola:

- El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5,000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1,000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

9.3. Reuniones y visitas realizadas en el viaje del 2 al 6 de mayo

Del 02 al 06 de mayo de 2022, se realizaron visitas a las ciudades de Montería, San Antero, Cartagena y Barranquilla, en las cuales se desarrollaron reuniones con las Corporaciones Autónomas Regionales, las empresas prestadoras, las autoridades locales y actuales o potenciales usuarios receptores de agua residual para reúso. En general, se verificó un mayor desarrollo y potencial de reúso de aguas residuales que el que se preveía luego de la revisión de la información pública. Asimismo, se verificó un alto interés en las Corporaciones Autónomas Regionales y de la mayoría de las

empresas de agua potable y saneamiento básico. Por otra parte, se determinó también la necesidad de una mayor socialización y capacitación en la normatividad del reúso, incluso para las CAR, que aún tienen dudas respecto a su aplicación.

En cuanto a los aspectos tarifarios, estos están siendo manejados sobre la base de acuerdos entre partes, generalmente entre la empresa de agua potable y saneamiento básico y los usuarios receptores. Aunque las condiciones detalladas de estos acuerdos no son públicas, se obtuvo información relevante que ha sido incluida en los informes de análisis de potencial.

En cuanto a los aspectos relevantes de cada visita:

- En Montería existe la posibilidad de desarrollar un proyecto piloto de significativa magnitud, que permitiría dar un salto cualitativo en el reúso de aguas residuales en el caribe colombiano. Se recomienda su implementación, simultáneamente con algún proyecto piloto en la zona de La Guajira, que es una de las que presenta mayor escasez de recurso hídrico.
- En San Antero, se confirmó el alto interés de la autoridad local y la preparación de los actores relevantes para desarrollar el proyecto piloto. Es recomendable continuar con su implementación.
- En Cartagena se verificó que se desarrollan ya proyectos de reúso de gran magnitud, principalmente derivándose aguas residuales directamente de las redes de alcantarillado antes de llegar al emisor submarino. En este caso es necesario desarrollar un poco más la normatividad previendo este caso, cuidando de no sobrerregular y mantener los incentivos.
- En Barranquilla, existe en la práctica reúso bastante difundido en los proyectos inmobiliarios de tamaño mediano que usan las aguas residuales para riego de áreas verdes. Nuevamente, en este caso se tiene un reúso que en rigor no está estrictamente cumpliendo la regulación, siendo necesario promover alternativas que permitan la formalización de este reúso, como la promoción de la prestación conjunta del servicio de tratamiento de aguas residuales y reúso de aguas residuales por terceros para

conjuntos de proyectos inmobiliarios que garanticen una escala rentable para este servicio.

La información recogida en las visitas, y el análisis de los casos específicos identificados, han sido utilizados en las evaluaciones de potencial y viabilidad y en los documentos de política y regulatorios, contribuyendo a un mejoramiento de las versiones iniciales de los mismos sobre la base de la revisión de las experiencias concretas en campo.

Una breve referencia a cada una de las reuniones específicas se presenta a continuación.

9.3.1. Reunión con la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS)

La CVS informó que en San Antero existen dos proyectos para sustituir las lagunas existentes con nuevas plantas de lodos activados. Se tiene información de la capacidad de diseño de las PTAR existentes, pero no se ha actualizado las cargas actuales.

La CVS considera posible otorgar concesiones de reúso de aguas residuales para el riego de los pastizales de los ganaderos locales. Sin embargo, no se tendrían políticas desarrolladas para promover el reúso, por tanto indican que evaluarán los casos que se presente para otorgarles la concesión de reúso. Propusieron que se promueva un programa de capacitación que incluya las corporaciones regionales como la CVS, a fin de orientar mejor la aprobación de los casos que se presenten.

9.3.2. Reunión con Aqualia, prestador de San Antero

Los funcionarios de Aqualia manifestaron que la empresa estaría interesada en el reúso de las aguas residuales tratadas en los 12 municipios que opera.

También confirmaron su interés en apoyar el Proyecto Piloto de San Antero, promovido

por GIZ, en donde apoyarían la rehabilitación de las lagunas que actualmente tratan 20 l/s.

9.3.3. Reunión con la Municipalidad de San Antero

En una reunión muy productiva los funcionarios del Municipio explicaron que el problema de la poca disponibilidad de agua es muy grave en la época de seca, obligando a los ganaderos a vender sus animales por falta de alimento, ya que sus pastizales manejados mediante el sistema de potreros desaparecen durante varios meses.

Es por ello que el Municipio ha desarrollado un programa para comprar forrajes de silo y entregar a los ganaderos en la época seca. El año anterior han gastado 200 millones de pesos (50,000 dólares) para adquirir las 400 toneladas de forraje que se entregaron en forma gratuita a los ganaderos locales. Por tal razón el Municipio está sumamente interesado en el Proyecto Piloto de Reúso, a fin de que le permita establecer las pautas para producir el forraje silo requerido en los predios del municipio, en lugar de tener que comprarlo.

También explicaron los Planes del Municipio para el Desarrollo Urbano y Turístico, estimando que en 10 años podrían recibir hasta 180,000 turistas en las época de verano. En tal sentido tendrán que desarrollar un plan de abastecimiento de agua y alcantarillado, así como ampliar las lagunas para tratar un mayor volumen de aguas residuales y evitar así la contaminación de las playas y los manglares que generen los vertimientos. Por ello consideran que el reúso sería la mejor alternativa para proteger estos ambientes naturales y turísticos.

9.3.4. Visita a la PTAR de San Antero

En la visita a la PTAR, los funcionarios del Municipio informaron que actualmente San Antero tiene una población de 30,000 habitantes, de los cuales 15,000 están conectados al sistema de alcantarillado.

La visita permitió recorrer las 3 lagunas que operan en serie y observar la situación en que actualmente están operando. Se observó que las lagunas están llenas de vegetación en todos sus taludes internos, incluyendo arbustos y árboles que de hecho pueden dañar la estructura de los diques. Igualmente se observó natas y vegetación flotante sobre la superficie de las lagunas.

Es evidente que la operación y el mantenimiento de la planta es muy limitada por parte del prestador Aqualia. A pesar de ello, la inspección visual nos permitió apreciar que el efluente tiene aparentemente una buena calidad según su turbidez y coloración, lo que indicaría que aún no está sobrecargado ese sistema. Quedó abierta la discusión de quien debería operar el sistema luego de ser rehabilitada la PTAR por el Proyecto Piloto, a fin de garantizar la buena operación y mantenimiento requerida para lograr un reúso seguro y productivo. Se consideró la posibilidad de que el Municipio asuma esta labor, reemplazando al actual operador.

Ilustración 6: PTAR San Antero



Fuente: Elaboración propia

9.3.5. Reunión con ganaderos de San Antero

Se coordinó una reunión con algunos ganaderos vecinos aprovechando la visita a la PTAR, con el propósito de conocer su opiniones sobre el reúso y del Proyecto Piloto propuesto.

Aun cuando en entrevistas anteriores realizadas por Crew+ indicaban una poca aceptación del reúso por parte de los agricultores, en esta oportunidad un representante de los ganaderos locales manifestó que tenían muchos problemas para alimentar su ganado en la época seca, por tanto consideraban que el reúso permitiría que mantengan sus pastizales todo el año y produzcan forraje silo para atender la demanda de esos meses, evitando así la necesidad de vender sus animales y poderlos engordar por un periodo más prolongado, logrando así una mayor rentabilidad de su actividad.

Es por lo expuesto que ofrecieron colaborar con la ejecución del Proyecto Piloto de Reúso, y si fuese posible también participar mediante el riego de algunos pastizales vecinos a la PTAR.



10. SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN CÓRDOBA Y SAN ANTERO

La costa del Mar Caribe es una zona cálida, con topografía bastante quebrada y ondulada y de tierras fértiles para la agricultura y la ganadería. Según el Censo Nacional Agropecuario (CNA), el Caribe colombiano en 2014 cuenta con 287.050 unidades de producción agropecuaria (UPA) y que representa el 12.1% de las UPA de Colombia. Por su parte, Córdoba es el departamento que tiene la mayor proporción de área agropecuaria, con el 76.3% de su área rural dispersa con respecto a los otros departamentos de la región. En Córdoba, el 58% de las UPA está dedicado a la actividad pecuaria y 36% a la actividad agrícola, quedando solo 6% como bosques naturales, lo que implica un uso muy intensivo de su territorio en el agro. El Municipio de San Antero está ubicado en la Región del bajo Sinú del Departamento de Córdoba.

10.1. Principales cultivos agrícolas

La agricultura en la región cuenta con un millón 306 mil hectáreas sembradas, de las cuales el 28.5% corresponde a cereales, el 25.8% a plátanos y tubérculos, el 23.4% a cultivos agroindustriales, 12.4% a frutales y 10% a otro tipo de cultivos (legumbres, forestales, etc.). La región cuenta con el 27.1% del área sembrada con cereales de Colombia, destacándose Córdoba y Bolívar con las mayores extensiones. Resalta la

producción de maíz blanco, maíz amarillo y arroz, especialmente en los departamentos ya mencionados.

Por el lado del cultivo de plátano y tubérculos, la región tiene el 17.6% del área sembrada, siendo Córdoba, Magdalena y Bolívar los territorios que lideran la producción regional. La yuca es el principal cultivo con 1.7 millones de toneladas cosechadas en 2013, siendo Bolívar y Magdalena los principales productores de la región (62%). El plátano es el segundo producto que se cultiva en los departamentos de Córdoba y Cesar, que en su conjunto representan el 66% de la producción regional y el 8% a nivel nacional. Los cultivos de algodón y piña se destacan en Córdoba (DANE-CNA, 2014).

En el caso específico del Municipio de San Antero, los cultivos agrícolas más importantes son maíz, arroz seco, sandía, ñame y yuca, luego le sigue la actividad pecuaria centralizada en la ganadería vacuna.

10.2. Actividad pecuaria

La actividad pecuaria en Córdoba representa el 58% de las UPA, por tanto el CNA estableció el inventario al 2014 de los tipos de actividades pecuarias que se citan en la tabla 4.

Tabla 11: Inventario de los tipos de actividad pecuaria en el Departamento de Córdoba

Tipo	Cabezas	% Nacional	UPA	% Nacional
Bovino	1,956,117	9.1	24,082	3.9
Porcino	197,859	4.0	23,586	12.5
Búfalos	39,034	22.2	463	8.3
Equino, asnal	121,807	10.1	16.916	5.8
Ovino y caprino	22,783	2.9	768	1.4

Avícola	9,038,854	1.3	37,281	6.5
---------	-----------	-----	--------	-----

Fuente: DANE-CNA, 2014

Como se observa, la principal actividad pecuaria del Departamento de Córdoba es la bovina (incluyendo el Municipio de San Antero), con casi 2 millones de cabezas y la participación de 24,082 UPA (DANE, 2014), lo que permite confirmar que se trata de un departamento ganadero por excelencia, ya que su hato representa el 9% del inventario ganadero nacional y el 30% del regional.

El departamento de Córdoba es un exportador neto de ganado bovino a otras regiones de Colombia. Por ejemplo, en el período 1991 - 2002 se pudo constatar que por cada animal sacrificado, se movilizaron 3.8 cabezas a otros departamentos. De otra parte, si el aporte de Córdoba a la ganadería nacional se mide a partir de los datos de la Encuesta Anual Manufacturera, su participación en la producción bruta industrial dentro del sector es de solo 5.4%, lo que manifiesta que la ganadería de Córdoba no se ha logrado industrializar, como si lo hicieron en Antioquia, Valle, Atlántico y Bogotá. Si se lograra en Córdoba una mayor industrialización de las cadenas cárnica y láctea, se generarían mayores encadenamientos que dinamizarían su economía a partir de mayor producción, empleo, ingresos, pago de impuestos y reactivación de los transportes, entre otros (Viloria, 2004).

Ilustración 7: Visita de campo Departamento de Córdoba



Fuente: Elaboración propia

10.3. Producción de pastos y forrajes

Los pastos pueden ser clasificados como gramíneas (pará, brachiaria y yaraguá) y leguminosas o proteínas de origen vegetal (caña forrajera, sorgo forrajero, semillas de algodón, de campano, maíz y matarratón), y ambas categorías pueden cultivarse en asociación. La introducción del brachiaria y el yaraguá no sólo mejoró la rentabilidad de los productores, al reducir el desplazamiento estacional del ganado a otras zonas de engorde (trashumancia), sino que también mejoró la alimentación de los animales al ser pastos más tiernos. Con estos pastos también se ampliaron los procesos de ensilaje y henificación. El primero consiste en cortar los pastos y almacenarlos en silos, que luego sirven como alimentos de los animales en período de sequía o verano. En el proceso de henificación se corta el pasto en partículas más grandes, se seca, se airea y se almacena en pacas. Con esta clase de suplementación, no sólo se consigue disponer de alimento durante todo el año, sino que también se logra que aumente la fertilidad de los animales (CEGA, 1999).

En el 2002 el departamento de Córdoba tenía cerca de 1,710,000 hectáreas en pastos,

de los cuales el 73% estaba en pradera tradicional, el 26% en pradera mejorada tecnificada y menos del 1% clasificaba como pastos de corte. Las especies forrajeras predominantes son: angleton, colusuana, yaraguá (en pradera tradicional) y brachiaria (en pradera mejorada tecnificada), y en pasto de corte las especies más difundidas son king grass y caña forrajera. En el caso específico de Montería, el 23% del área departamental se concentraba en pastos, con más de 385.000 hectáreas, de los cuales el 94% estaban cultivados en pradera tradicional, siendo el "angleton" la variedad predominante (Viloria, 2004).

Al relacionar el área en pastos con el inventario ganadero se obtiene la capacidad de carga, que para Colombia en 2002 fue de un animal por hectárea, mientras que para la región Caribe la relación fue de 1.4 cabezas por hectárea y en el departamento de Córdoba de 1.6. La mayoría de las fincas presentan escasez de pastos, unas durante la época seca y otras por las inundaciones ocurridas durante el período de lluvias en las zonas inundables de los ríos Sinú, San Jorge y Cauca. Una característica de los forrajes naturales es que están desprovistos de fósforo y calcio, por tanto se deben suplementar con sales mineralizadas (Viloria, 2004).

De todo lo descrito anteriormente se puede deducir que la ganadería bovina en Córdoba es estacional, lo que implica trasladar el ganado a otras regiones del país al inicio de la época seca, situación que limita el desarrollo de la industrialización de las cadenas cárnica y láctea que brindaría un valor agregado a esta actividad. Si bien el cultivo de forrajes silo aminoró este problema porque permitía almacenar este alimento, la producción de ellos tampoco se puede realizar en la época seca, por lo que normalmente se tiene que adquirir de otras regiones.

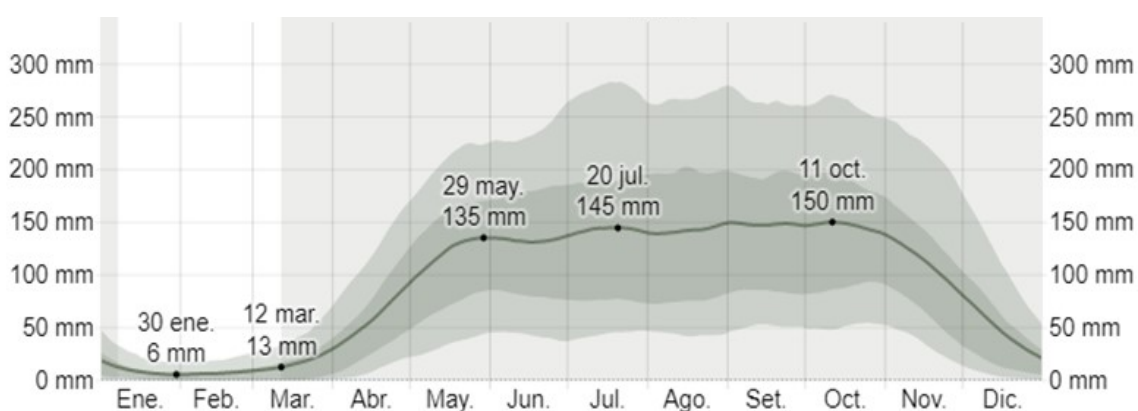
10.4. Problema de la disponibilidad de agua

Queda claro que la baja productividad de la ganadería bovina en Córdoba, incluyendo el Municipio de San Antero, está vinculada al régimen hidrológico característico de toda la

zona caribeña de Colombia, que por un lado en la época de avenida (lluviosa) genera inundaciones y el arrastre de los capas fértiles de los suelos ricos en nutrientes, y del otro lado, la época de estiaje con los periodos críticos de sequía que limitan mantener los pastos en las praderas naturales y mejoradas, obligando a los productores a subastar sus animales.

Según Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), el departamento de Córdoba registra un patrón muy variado en la distribución de las lluvias medias anuales. En la franja costera se presentan las menores lluvias con menos de 1500 mm al año. El centro del departamento tiene entre 1500 y 2000 mm y hacia el extremo sur, en aproximación a la cordillera, los volúmenes de lluvia pueden alcanzar los 4000 mm. El régimen de lluvias durante el año, al centro y sur del departamento es monomodal, con una única época seca de diciembre a marzo y una temporada de lluvias que comienza a incrementarse a partir del mes de abril, alcanza máximos en julio-agosto- septiembre, y luego disminuye hasta el final de año. Este régimen es algo menos marcado en proximidades a la costa, en donde se nota una leve disminución de lluvias a mitad de año (IDEAM, 2022).

Ilustración 8: Precipitación en San Antero, Colombia



Fuente: Waather Spark, 2022.

Como se puede apreciar en la ilustración 3, la época de avenida en San Antero se

extiende 7.5 meses, desde mediados de abril hasta fines de noviembre, con una probabilidad de más del 31 % de que cierto día será un día lluvioso. El mes con más días lluviosos es Setiembre, con un promedio de 17.2 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca (estiaje) dura 4.5 meses, desde inicios de diciembre a mediados de abril. El mes con menos días lluviosos es febrero, con un promedio de 1.6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación (Waather Spark, 2022).

Esta información permite deducir que a partir de diciembre los potreros con pastos naturales utilizados por los ganaderos para alimentar el ganado vacuno comienzan a secarse, dificultando una adecuada alimentación, por tanto se ven obligados a vender los animales antes de perder peso. Solo en limitados casos, los ganaderos adquieren o producen forrajes para ensilaje, lo cual les permite alargar la crianza para ganar un poco más de peso antes de la venta, pero la mayoría de ganaderos no tiene esa posibilidad.

10.5. Productividad de los forrajes silo y alimentación de ganado bovino

La productividad del cultivo de forraje de silo depende del clima, la fertilidad del suelo, la especie de forraje y la densidad de la plantación. En la mayoría de los suelos se cultivan densidades de 64,000 a 81,000 plantas por hectárea. Poblaciones de plantas más altas que este rango serían más adecuadas solo para los suelos más productivos. Por ello, las aguas residuales permiten elevar significativamente la fertilidad de los suelos. Así se podría alcanzar producciones de maíz forrajero, como en Pensilvania (USA) en donde la productividad fluctúa entre 58 y 65 Ton/ha.año para una densidad entre 60,000 y 100,000 plantas/ha (ABT México, 2022).

El consumo de alimento del ganado depende de la edad y el peso del animal. Se estima que por cada 100 Kg de peso, el animal debe comer un equivalente de 1.8 a 3.5 Kg de materia seca. Si se asume que los forrajes de silo tienen un 20% de materia seca, se

puede deducir que por cada 100 kg de peso se deberá proporcionar de 9 a 17 kg diarios de forraje. Las ganancias promedio de peso vivo para novillos alimentados con pastos durante el año no suelen pasar de 0.6 kg/día y normalmente es de 0.5 kg/día, aunque con pastos fertilizados y una rotación adecuada permiten obtener ganancias diarias de 0.750 kg. a 0.850 kg. (Contexto Ganadero, 2022).

Con la información anterior se puede estimar que una hectárea de maíz forrajero que produzca 60 toneladas podría alimentar 100 cabezas bovinas por 50 días, logrando un incremento de 2,500 kg de peso vivo en este grupo de animales.

10.6. Costos y precio de mercado pecuario bobino

Si bien es cierto que la productividad y los ingresos de las ganaderías de leche son superiores a las de ceba y doble propósito, también se encuentra en los primeros que los costos de producción e inversión de capital son superiores. Así por ejemplo, en el 2000 las ganaderías lecheras de clima frío presentaron costos de producción de \$1,900,000/ha.año (US\$ 950/ha.año) y \$1,200,000/cabeza (US\$ 600/cabeza), mientras en las ganaderías de la región Caribe, predominantemente de ceba y doble propósito, ambos fueron cercanos a \$285,000/ha.año y cabeza, equivalente a solo US\$ 143/ha.año o cabeza (Viloria, 2004).

Holmann y Rivas (2003) calcularon para el 2000 los costos e ingresos de la ganadería para Córdoba, estableciendo un promedio por cabeza de ingresos brutos de \$ 871,282 (US\$ 436), un costo total de \$ 695,778 (US\$ 348), lo que define un ingreso neto de \$ 175,504 (US\$ 88).

El departamento de Córdoba es un "exportador neto" de ganado bovino a otras regiones de Colombia, deficitarias en producción. En el período de doce años de 1991 a 2002, en Córdoba se sacrificaron cerca de 1,100,000 cabezas de bovinos y se movilizaron a otros departamentos un poco más de 4,000,000 de cabezas, lo que significa que por cada

animal sacrificado se movilizaban a otros departamentos 3.8 cabezas, que en su mayoría eran novillos con destino al departamento de Antioquia. Entre 2000 y 2002 Córdoba importó a otros departamentos cerca de 1,500,000 cabezas e importó 530,000 cabezas, de lo que resultó una “exportación neta” de 930.000 cabezas hacia regiones deficitarias (Viloria, 2004).

De otro lado, el Municipio de San Antero en el 2021 gastó \$ 200 millones para comprar 400 toneladas de forraje de silo, por lo que se puede deducir que el precio pagado fue de \$ 500,000/ton. (US\$ 125/ton.) y que fue entregada en forma gratuita a los ganaderos locales.

Haciendo un análisis económico con la información anterior, se puede estimar que en una hectárea que rinda 60 toneladas de maíz forrajero, el Municipio de San Antero obtendría US\$ 7,500 gastados para adquirirlos. Del mismo modo se puede estimar que este forraje permitirá producir 2,500 kg de peso vivo en el ganado alimentado, beneficio que no se obtiene cuando estos se venden al inicio de la época seca.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

11. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROYECTO DE REÚSO DE SAN ANTERO

El Estudio Preliminar elaborado por el Proyecto Crew+ propone específicamente un Proyecto Piloto de Reúso en el Municipio de San Antero, iniciativa que compartimos es clave para demostrar los beneficios del reúso de las aguas residuales en la región. Sin embargo, consideramos que conviene visualizar previamente la capacidad total del reúso con todo el caudal actual y proyectado de aguas residuales que genere dicho Municipio de San Antero. En tal sentido, el presente informe contribuye a definir esa visión completa y establecer algunos términos de referencia para elaborar la Propuesta Definitiva del citado Proyecto Piloto, fase siguiente programada Crew+ con el GIZ.

11.1. Cantidades disponibles y consumibles de agua residual

El Proyecto preliminar de Crew+ ha usado como referencia la estimación de la población futura de San Antero realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). En ese sentido se reportan los datos históricos de la población urbana de San Antero, que se incrementó de la siguiente forma:

- Año 1985: 10,158 habitantes

- Año 1993: 10,675 habitantes
- Año 2005: 14,406 habitantes

Con una tasa de crecimiento anual estimada de 0.018 se puede deducir la población proyectada, y con una dotación neta de 120 l/hab.día se puede estimar la demanda de agua. Asumiendo un retorno de 85% de la demanda de agua estimada, se puede calcular el afluente de la PTAR para un supuesto de alcanzar una cobertura de 100% de alcantarillado. Por último, aplicando una pérdida de 0.01 m/día por evaporación e infiltración en las lagunas de la PTAR existente, se puede estimar el caudal perdido, que al ser restado del caudal afluente, permite estimar el caudal del efluente de la PTAR que se podría utilizar para el reúso. En la siguiente tabla muestra el cálculo de todos los datos antes mencionados para la situación actual (2022) y para las series de 5 años hasta el año 2045.

Tabla 12: Proyecciones de población y demanda de agua de San Antero y disponibilidad de agua residual en la PTAR

Año	Población	Demanda de Agua		Agua residual (l/s)	
	Hab.	M ³ /día	l/s	Afluente	Efluente
2022	19,165	2,300	26.62	22.63	18.31
2025	20,219	2,426	28.08	23.87	19.55
2030	22,105	2,653	30.70	26.10	21.78
2035	24,167	2,900	33.57	28.53	24.21
2040	26,422	3,171	36.70	31.19	26.87
2045	28,887	3,466	40.12	34.10	29.78

Fuente: Crew+, 2021 y elaboración propia.

Se consideró conveniente estimar nuevamente algunos parámetros con los supuestos antes mencionados debido a unas limitaciones de los cálculos reportados por el Proyecto preliminar de Crew+, las cifras proyectadas se han expuesto en la tabla 12. Además, se debe tener en cuenta que es posible que la tendencia de crecimiento poblacional también pueda variar en el futuro, si se concreta el plan de desarrollo

turístico del Municipio de San Antero.

11.1.1. Caudal tratado actual y proyectado

Usando la información suministrada por la oficina del SISBEN del Municipio de San Antero, se deduce que el crecimiento poblacional proyectado por el DANE ha excedido los valores reales. Por ello, se puede observar que la proyección en base a la tasa de crecimiento estimada por DANE arroja una población actual de 19,165 habitantes, mientras que SISBEN estima que es de 16,555 habitantes.

Por otro lado, el Proyecto preliminar de Crew+ indica que el prestador de Agua y saneamiento de San Antero Aqualia ha reportado una cobertura del 85% para este servicio público, lo que implica que de 16,555 habitantes de la zona urbana, solamente 14,072 tienen acceso al servicio de alcantarillado, y de estos, aproximadamente 13,650 constituyen la población aportante a la PTAR de San Antero, que recibe un caudal de 20 l/s (1,728 m³/día) reportado también por Aqualia, cifras que permiten deducir una dotación neta de agua de 126 l/hab.día.

También SISBEN ha proyectado que para el 2045 el municipio alcanzaría una población de 25,402 habitantes, mientras que el estimado con la proyección de DANE sería de 28,887 habitantes. Considerando las cifras más conservadoras de SISBEN, el caudal a ser tratado por la PTAR sería de 30 l/s para una cobertura total del servicio.

11.1.2. Calidad del efluente requerida para el reúso

Asumiendo que el caudal actual tratado por la PTAR es de 20 l/s, esta cifra representa al 86% de su capacidad de diseño de 25 l/s, por tanto se espera que el tiempo de retención en la laguna facultativa primaria supere los 15 días, siempre que se recupere la capacidad inicial con la remoción de lodos de dicha laguna. Este tiempo sería

suficiente para garantizar una total remoción de los helmintos parásitos humanos, requisito elemental para todo tipo de reúso.

También el Proyecto preliminar de Crew+ ha reportado la única información sobre la calidad sanitaria del efluente de la PTAR para coliformes termo tolerantes y que es de $4.5E+3$ NMP/100 ml, valor algo superior al máximo establecido por la normatividad para el riego de frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, por tanto se asume que para el resto de cultivos si se pueden regar con esa calidad. Sin embargo, para cumplir con los valores máximos permisibles de Estreptococos fecales y los demás microorganismos el Proyecto ha propuesto implementar un sistema de desinfección tipo cloración, que garantice un valor de cloro residual total $< 1,0$ ppm de cloro.

Por otro lado, este estudio indica que el DBO5 de 114 mg/L supera el límite de 90 mg/L estipulado en norma de vertimiento, en el entendido que se realizará esa disposición final de parte del efluente no utilizado en el reúso, especialmente en el periodo de lluvias. Como antes se ha explicado, la presencia de materia orgánica en el efluente es beneficiosa para la actividad agrícola, por tanto si se logra utilizar toda el agua en la época de sequía la concentración de DBO5 no sería un problema. En cambio, el vertimiento de estas aguas a un cuerpo receptor durante la época de lluvias si constituye un riesgo para el ambiente y está limitado por la normatividad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las lluvias generan una dilución del agua residual durante esa época, por lo que es muy probable que no exceda la concentración límite de 90 mg/L estipulada por la norma.

Se estima que a partir del año 2028 el caudal que llegue a la PTAR supere la capacidad de diseño de 25 l/s, por lo que se tendría que realizar una ampliación de la capacidad de la PTAR. Sin embargo, la laguna primaria con una capacidad de diseño de 26,268 m³

puede recibir un caudal de hasta 30 l/s para mantener un tiempo de retención de 10 días, requeridos para remover helmintos parásitos humanos, caudal que se ha estimado para el 2045. Pero esta capacidad solo será posible si se mantiene la laguna sin lodos, por tanto se recomienda efectuar limpieza de lodos cuando supere el 20% del volumen de laguna, y de ser posible, aprovechar para profundizar la laguna que permitirá ampliar aún más su capacidad.

11.1.3. Disponibilidad actual y proyectada de agua utilizable para el reúso

Usando los valores reportados por Aqualia y las estimaciones propias que figuran en la tabla 5, además de restar 4 l/s al afluente por las pérdidas en evaporación e infiltración estimadas en el sistema de lagunas de la PTAR existente, se puede deducir que la PTAR San Antero ofrecería los volúmenes de agua residual tratada para las actividades de reúso que se mencionan en la tabla 13.

Tabla 13: Disponibilidad actual y proyectada de agua utilizable para el reúso

Año	Caudal	Volumen		Usable en época seca (m ³)	Almacenable en época lluvia (m ³)
	l/s	Diario (m ³)	Anual (m ³)		
2022	16	1,382	504,576	189,216	315,360
2025	17	1,469	536,112	201,042	335,070
2030	18	1,555	567,648	212,868	354,780
2035	21	1,814	662,256	248,346	413,910
2040	23	1,987	725,328	271,998	453,330
2045	26	2,246	819,936	307,476	512,460

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la disponibilidad de agua residual tratada en la PTAR San Antero se incrementará de 16 a 26 l/s entre 2022 y 2045, lo que permitiría incorporar progresivamente más áreas regadas.

Por otro lado, al tener una época seca de apenas 4.5 meses, solo el 37.5% del volumen

anual del agua residual sería aprovechada, ya que el resto del año no sería posible por la saturación de los suelos ocasionada por las lluvias.

Sin embargo, a futuro ese 62.5% restante podría ser almacenado para aprovecharse en la época seca y ello permitiría regar un área 2.6 veces mayor de cultivos, reduciendo o eliminando la necesidad de efectuar un vertimiento en los cuerpos naturales. Además se podría aprovechar mejor los nutrientes de las aguas residuales, en suelos empobrecidos por las inundaciones que arrastran los nutrientes naturales.

11.2. Actividades potenciales de reúso

El Estudio Preliminar de Crew+ y la visita realizada ha permitido validar que la principal actividad de reúso potencial a ser promovida en San Antero es la producción de forraje de silo para atender las necesidades alimenticias del ganado durante la época seca. Se puede agregar una segunda actividad de reúso, consistente en el riego de los pastos naturales de los potreros en esa época.

No se descarta incluir también el riego de cultivos forestales para dar cumplimiento a las compensaciones forestales que debe realizar la administración municipal en las áreas aledañas a proyectos donde se haya necesitado licencia ambiental, así como el riego de áreas verdes urbanas, especialmente de campos deportivos mediante camiones cisterna y solo en la época seca.

11.3. Estándares de calidad requeridos para el reúso

Como se ha discutido en el punto 3.1.2, la capacidad actual de la laguna primaria (laguna facultativa 1) de la PTAR San Antero asegura lograr más de 10 días de periodo de retención, que garantiza la total remoción de helmintos parásitos humanos. Incluso se ha estimado que esta PTAR puede recibir hasta 30 l/s sin afectar este periodo de

retención requerido, siempre que se mantenga la capacidad de la laguna mediante una limpieza periódica de los lodos acumulados y mejor aun profundizando este reactor.

Igualmente se ha reportado un nivel de coliformes fecales de $4.5E+3$ NMP/100 ml que es aceptado por la norma para todo tipo de riego agrícola, salvo frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. Por tanto la propuesta de regar forraje de silo y pasturas naturales es compatible con la calidad existente en el efluente de la PTAR San Antero. Aun cuando a futuro se incorpore un mayor caudal en la PTAR, y que de hecho generará el incremento de coliformes fecales, el reúso propuesto seguirá siendo compatible con los límites estipulados por la norma.

En el caso específico del riego de áreas verdes públicas y campos deportivos, la calidad actual en términos de coliformes fecales no es apta para este reúso, por tanto se tendrá que reducir los coliformes termo tolerantes a menos de 1,000 NMP/100 ml mediante una desinfección, que en todo caso está prevista en el plan de rehabilitación de la PTAR. Sin embargo, sugerimos que la cloración se aplique solo al pequeño volumen de agua que sería destinado a este propósito. En general no se recomienda la cloración para el agua de riego de forrajes y pasturas, a fin de evitar un impacto negativo en la flora natural de los suelos regados.

Por último la concentración de 114 mg/L de DBO5 no debería preocupar para el riego de cultivos forrajes y pasturas, ya que mejora la fertilidad del suelo y ofrece más nutrientes a estos cultivos.

11.4. Plan para la ejecución del proyecto de reúso en San Antero

El Plan de Reúso debe ser definido por las siguientes variables:

- La disponibilidad de agua por etapas según los periodos de 5 años consecutivos.

- El tipo de actividades de reúso seleccionadas.
- La factibilidad de implementar lagunas de almacenamiento
- La forma de uso de agua: directo en la época seca o almacenado para usarse en esa época.
- La disponibilidad de áreas para los reúsos seleccionados.
- La necesidad de demostrar experiencias exitosas a una etapa piloto inicial.
- La capacidad de financiamiento para implementar las etapas proyectadas.

La tabla 7 muestra el esquema que sustenta las tres etapas del Proyecto en función a las variables antes mencionadas. No se ha incluido la capacidad de financiamiento porque es un proceso aún pendiente, excepto en la etapa piloto. Los datos de área utilizable están calculados en función del caudal disponible y se asumen para una dotación de 1 l/seg.ha normalmente aplicado al riego por gravedad en surcos, área que podría ser el doble si se aplica riego tecnificado. Igualmente se está duplicando el área en la fase II de desarrollo, en el supuesto de que se almacene el agua durante la época de lluvias, luego sería utilizada en la época seca.

Tabla 14: Esquema tentativo de las Etapas del Proyecto Reúso San Antero

Año	2022	2023	2024	2025	2026-30	2031-35	2035-40	2040-45		
Agua (l/s)	16	16	16	17	18	21	23	26		
Uso agua	Directa solo en época seca				Almacenada para época seca					
Área (ha)	5	5	5	16	36	42	46	52		
ETAPAS	Piloto			I			II			
Forrajes (ha)			3	5	5	10	10	10	10	
Pastizal (ha)			1	10	10	24	30	34	40	
Forestal (ha)			1	1	1	2	2	2	2	

Fuente: Elaboración propia.

Este esquema es solo tentativo, ya que todas las variables podrán modificarse en el tiempo, incluso alguna podría limitar el desarrollo propuesto. Tal vez la variable más volátil sería la factibilidad de almacenar el agua residual en la época lluviosa para ser utilizada en la época seca, ya que implica disponer de tierras para construir los reservorios y de capacidad financiera de los usuarios para asumir tal inversión. Por último, se propone un mayor desarrollo del riego de pastizales naturales que de los cultivos de forrajes silo, pero la magnitud de estas actividades de reúso dependerá de los resultados que se logren en la fase piloto y del interés de los usuarios en implementarlas.

11.5. Etapa Piloto

Una de las limitaciones del avance del reúso en Colombia es la poca experiencia que se ha logrado hasta la fecha, por tanto es necesario demostrar las ventajas que utilizar el agua residual como fuente alternativa de agua y proveedora de nutrientes. También es importante conocer las limitaciones y los riesgos que puede generar, si no se asumen responsabilidades para garantizar una práctica con medidas de control de dichos riesgos, y que además se sustente la normatividad.

Es así como la Etapa Piloto debe tener el objetivo de evaluar las diversas alternativas de reúso en las condiciones especiales de la región caribeña de Colombia, a fin de definir la metodología de esta nueva modalidad del uso del recurso hídrico y poder promover con fundamento un reúso seguro y productivo. Queda claro que la principal justificación del reúso propuesto es el abastecer con este recurso a la importante actividad ganadera de la Región, que en la estación seca tiene serias limitaciones para continuar la crianza del ganado vacuno.

Inicialmente se previó que esta Etapa Piloto se realizara en los terrenos del Municipio de San Antero entre 2022 y el primer semestre del 2023, a través de las siguientes actividades:

- Rehabilitación de la PTAR en 2022 (en proceso).
- Implementación del sistema de riego en 2022 (en proceso).
- Implementación de las actividades de reúso, entre diciembre de 2022 y abril de 2023.
- Evaluación y divulgación de los resultados exitosos logrados, entre mayo y junio de 2023.

Este cronograma está siendo revisado.

Los detalles de esta Etapa están descritos en la Propuesta Preliminar elaborada por Crew+ para su implementación.

También, existe un acuerdo previo para que esta etapa inicial sea ejecutada por el Municipio de San Antero con la participación de algunos ganaderos locales, y que además contará con el soporte técnico de GIZ a través del Proyecto Crew+. Se espera que reciba también el soporte legal de la Autoridad Ambiental representada por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS) y el respaldo político a través del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Por tratarse de una etapa de evaluación y difusión de los resultados exitosos entre los productores locales, se considera que también debería participar la Academia, que en este caso podría ser la Universidad de Córdoba, por tanto se recomienda buscar un contacto con la Facultad de Ciencias Agrícolas para evaluar la posibilidad de dicha participación.

11.6. Primera Etapa de Desarrollo

La Etapa I de desarrollo del Proyecto tendrá el objetivo de implementar a una escala mayor todo el reúso posible que permita el caudal disponible del efluente de la PTAR San Antero durante las dos épocas secas comprendidas entre 2023 y 2025. Por tanto,

se realizará en los lotes vecinos a la PTAR mediante las siguientes etapas:

- Capacitación de los productores, entre mayo y junio de 2023
- Ampliación progresiva del sistema de riego para abastecer 16 ha, en el segundo semestre de 2023.
- Implementación progresiva de las actividades de reúso en 16 ha para desarrollarse en las dos épocas secas comprendidas entre 2023 y 2025.

Las áreas asignadas a los tres tipos de reúso son referenciales, pueden variar según los resultados que se obtengan en la Etapa Piloto y del interés de los potenciales usuarios.

11.7. Segunda Etapa de Desarrollo

La Etapa II de desarrollo del Proyecto tendrá el objetivo de implementar un sistema de almacenamiento de agua residual para duplicar las áreas irrigables durante las épocas secas comprendidas entre 2026 y 2045. Por tanto, se realizarán en los lotes vecinos a la PTAR mediante las siguientes etapas:

- Capacitación de los nuevos productores que se incorporen al reúso, entre mayo y junio de los años 2025 a 2040.
- Implementación de reservorios con capacidad de almacenar las aguas residuales no utilizadas en las épocas de lluvia y de acuerdo con el efluente disponible de la PTAR, durante los segundos semestres de los años comprendidos entre 2026 y 2045.
- Implementación del sistema de riego de hasta 52 ha o más posibles de atenderse con el efluente disponible de la PTAR, en los segundos semestres de los años comprendidos entre 2026 y 2045.
- Implementación de las actividades de reúso en nuevas parcelas hasta alcanzar las 52 ha o más, para utilizarse en las épocas secas de los años comprendidos

entre 2026 y 2045.

Igualmente las áreas asignadas a los tres tipos de reúso son referenciales, ya que estas pueden variar de acuerdo con el interés de los potenciales usuarios locales.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of blue and green, positioned at the top left of the page.

12. PROYECTO PILOTO DE REÚSO EN SAN ANTERO

En principio, se considera conveniente mencionar que la Propuesta Preliminar de Crew+ para el Proyecto Piloto de Reúso es adecuada, por lo que en esta sección se mencionan algunos aspectos que podrían ajustarse o añadirse para lograr mejor los objetivos propuestos.

12.1. Opciones recomendadas de reúso

La Propuesta Preliminar de Crew+ para el Reúso en San Antero ha propuesto muy acertadamente la implementación de 3.75 ha para que el Municipio realice una producción de forrajes silo que luego pueda ser entregada a los ganaderos locales en la época seca. Paralelamente ha propuesto la implementación de una barrera corta vientos de 1.4 km de longitud en los linderos de la PTAR y las zonas de reúso. Ambas actividades consideramos que son viables de acuerdo con las condiciones que se han establecido.

Sin embargo, consideramos que sería también clave efectuar una experiencia del riego de los pastizales naturales de algunos ganaderos vecinos durante la época seca, permitiendo así evaluar esta práctica como una alternativa al cultivo de forrajes silo. Para ello, la Propuesta Definitiva que realizará Crew+ en los siguientes meses debería evaluar la posibilidad de incorporar esta modalidad de reúso, incorporando nuevas

tierras o sustituyendo parte de las ya seleccionadas para la producción forrajera. Igualmente tendrá que reformular el sistema de distribución y riego para atender estas nuevas áreas. Tal vez también se podría proponer adicionar un reservorio piloto para almacenar el agua residual en la época lluviosa y que luego se utilice en la época seca.

Por último, no sería difícil incorporar a la Propuesta una pequeña actividad adicional de reúso, consistente en el abastecimiento de camiones cisterna para el riego de algunas áreas verdes urbanas de la ciudad, preferentemente campos deportivos. En este caso, se tendría que implementar un surtidor para cargar los camiones.

12.2. Rehabilitación del sistema de tratamiento

También coincidimos en que el Proyecto de Reúso solo será posible si antes se realiza una rehabilitación de la PTAR conformada por lagunas de estabilización. En la tabla 2 se ha expuesto las siguientes actividades recomendadas por la Propuesta Preliminar:

- Reposición de la rejilla en la cámara de retención de sólidos gruesos
- Reposición del vertedero triangular para medición de caudal del afluente
- Reposición de la tubería de ingreso a la laguna primaria
- Dragado y disposición final de los lodos de la laguna primaria
- Limpieza de malezas y extracción de árboles en los diques internos de las lagunas
- Reparación de las compuertas de pase entre lagunas
- Instalación de Canaleta Parshall a la salida de la laguna de maduración.
- Construcción de lechos de secado de lodos.
- Limpieza del tramo de canal perimetral

En principio, se está de acuerdo con la propuesta de las actividades identificadas para

rehabilitar la PTAR, por tanto a continuación se menciona aquellas que recomendamos modificar.

12.2.1. Mejora del flujo hidráulico

Si bien la Propuesta Preliminar contempla como tercer ítem la reposición de la tubería de ingreso a la laguna primaria, y según el esquema descrito, se trata de una tubería que llega a la laguna primaria por el centro del dique superior y que se extiende 12 m a cada lado, por tanto este reactor recibiría el agua cruda a través de tres puntos de ingreso, que mejoraría la distribución del agua y con ello el flujo hidráulico disperso.

En vista que el ancho de la laguna primaria es de 90 metros en el espejo de agua, sugerimos que los 2 brazos de la tubería mencionada se alarguen hasta 25 m en vez de los 12 m asignados, a fin de mejorar aún más el flujo hidráulico de la laguna. Además de este dispositivo a ser instalado, se debería implementar otros tres dispositivos de pase a las siguientes 2 lagunas, para que todas ellas mejoren el flujo hidráulico.

En algún momento se explicó que también se estaba planeando instalar mamparas para subdividir la laguna primaria en tres franjas que faciliten un flujo más homogéneo. Sin embargo, las investigaciones en México han demostrado que el uso de mampara (baffles) para optimizar el flujo hidráulico de las lagunas de estabilización no generan una mejora significativa, debido a la interferencia de los vientos que impactan sobre la superficie del agua y modifican las expectativas de lograr un flujo más eficiente. En tal sentido, se considera que la implementación de 3 puntos de entrada y de salida de las lagunas termina siendo más eficiente para optimizar el flujo hidráulico del reactor.

12.2.2. Extracción de lodos mediante secado in situ

La actividad más importante que se ha considerado en la Propuesta de Crew+ es el dragado y disposición final de los lodos de la laguna primaria, que al utilizar la tecnología de Geotubos para confinamiento y deshidratación de los lodos extraídos, tendría un

costo de \$760.000.000 (US\$ 190,000) y que representa el 90.5% del presupuesto estimado para la rehabilitación de la PTAR. Este costo podría superar al monto utilizado para construir la propia laguna.

Tradicionalmente, la remoción de los lodos acumulados en las lagunas se ha realizado mediante un proceso de drenado total del reactor, seguido por un secado natural de los lodos en la época más calurosa y seca, para finalmente remover los lodos secos mediante maquinaria como bulldozer o cargador frontal. Incluso en Perú se ha aprovechado este lodo seco para reparar los diques internos de la propia laguna, mediante el desplazamiento desde el fondo y reconfiguración del dique con un bulldozer.

Esta remoción de lodos de la laguna primaria de la PTAR San Antero se podría realizar en la próxima época seca esperada entre enero y abril de 2023, drenando la laguna tan pronto cesen las lluvias (inicios de enero) y dejando secar los lodos en enero y febrero, para finalmente remover los lodos secos con maquinaria en marzo. Esta alternativa reduciría notablemente el costo de remoción de lodos proyectado y de la rehabilitación de la PTAR.

Sin embargo, se debe tener presente que esta época seca también coincidiría con el mismo periodo del primer riego piloto programado para el cultivo de forrajes silo y pastizales naturales, por tanto sería necesario que en forma provisional se derive el agua residual cruda directamente a la laguna secundaria, a fin de no detener el flujo a ser tratado en forma constante, y que luego sea utilizado para el reúso programado. Es cierto que la calidad del efluente temporalmente sería menor a la actual, pero esta situación se presentaría solo por algunos meses hasta poner nuevamente operativa la laguna primaria, que ya limpia aseguraría una mejor calidad por un largo tiempo.

12.2.3. Instalación de arquetas de desagüe de lagunas

La implementación de compuertas de pase o drenaje de las lagunas han generado serios problemas para lograr el secado de muchas lagunas donde se instalaron, ya que dicha estructuras de fierro son corroídas fuertemente por el agua residual durante el prolongado tiempo de 5 a 10 años que no se utilizan hasta que se requiere drenar las lagunas para remover los lodos. Por tal razón en muchas lagunas se vienen implementado las denominadas arquetas de desagüe, que al ser una caja de concreto armado de tres lados, ubicada en el lugar más profundo y conectada por una tubería que atraviesa el dique hasta el exterior de la laguna, puede drenar totalmente la laguna a un canal perimetral externo.

Esta arqueta de desagüe cuenta con dos ranuras en las dos paredes laterales y cercanas al lado sin pared, en las cuales se introducen tablillas de madera o PVC de 30 cm de altura cada una y que se van sellando con arcilla progresivamente hasta alcanzar la altura del nivel de agua deseado en la laguna y sellando totalmente la caja para evitar la fuga de agua. Para realizar el drenaje completo de la laguna, se va extrayendo la arcilla apisonada entre las tablillas de ambas ranuras hasta liberar las propias tablillas, con lo que se iniciará el drenaje de los primeros 30 cm de altura de agua. Este procedimiento que continúa realizando con las siguientes tablillas hasta lograr sacar todas y drenar totalmente la laguna.

12.3. Áreas asignadas para los tipos de reúso seleccionados

La Propuesta Preliminar de Reúso ha identificado tres lotes del Municipio que suman 3.72 ha para cultivo de los pastos de corte para ensilaje King Grass, Mombasa y Bachiaria, actividad que estaría a cargo de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), bajo el modelo de comodato que maneja la alcaldía con organizaciones de productores del municipio. Además, se habla de 1,400 m de longitud

para implementar una barreta cortavientos que se ubicaría en los linderos y que podría abarcar una extensión de 1 ha.

No se ha contemplado la posibilidad de evaluar los rendimientos del reúso en el riego de pastizales naturales, pero las entrevistas de algunos ganaderos vecinos a la PTAR permitieron entender que esta alternativa de reúso también sería viable. Por tanto, se recomienda que en la Propuesta Definitiva se incluya esta alternativa de reúso.

Dependiendo del presupuesto, se podría evaluar la posibilidad de añadir un área de potreros perteneciente a los ganaderos vecinos de la PTAR y que en esta etapa piloto podría ser hasta de 1 ha. Se entiende que la habilitación de esta nueva área sería realizada por los propietarios de dichos potreros, incluyendo el sistema de abastecimiento de agua residual desde la PTAR y el sistema de riego que considere factible dicho propietario.

12.4. Actores involucrados

En concordancia con la propuesta del punto anterior, se tendría que incorporar a los dueños de los potreros seleccionados en la lista de los actores involucrados, ya que ellos asumirían la responsabilidad de habilitar el sistema de riego y manejar los pastizales que se pretenden mantener productivos durante la época seca.

12.5. Implementación del sistema de riego para el reúso

En la tabla 3 se han identificado los componentes del sistema de riego del Proyecto Piloto de Reúso propuesto por Crew+ para San Antero y que son los siguientes:

- Unidad de Filtración
- Tanque de cloración

- Unidad de recolección de agua filtrada
- Caseta de operación
- Cabezal de riego
- Red de riego
- Emisores de riego

Este sistema será ubicado a la salida de la laguna de maduración, desde donde se distribuirá el agua a las áreas de riego. El costo estimado en forma preliminar sería de \$ 72,000,000 equivalente a US\$ 19,100 ó € 16,000. Se esta de acuerdo con la mayoría de las instalaciones propuestas, salvo algunas observaciones que discutiremos en los siguientes puntos.

Es evidente que se ha propuesto un sistema de riego tecnificado que permite una alta eficiencia en el uso del agua, alternativa correcta cuando se quiere regar más áreas con el mismo caudal disponible de la PTAR. Sin embargo, es un criterio que debería evaluarse con mayor precisión, ya que el riego tradicional en la Región es por gravedad, por tanto los agricultores no están muy dispuestos a asumir dicho riego tecnificado, ni cuentan con los recursos económicos para implementarlos y mantenerlos por cuenta propia. Además, la alternativa de riego tecnificado es menos factible para el riego de pastizales naturales de los potreros locales.

En la casi totalidad de experiencias de reúso desarrolladas en los países latinoamericanos se utiliza el sistema de riego por gravedad mediante surcos, que si bien es menos eficiente que los tecnificados, es el más viable para los pequeños agricultores que no disponen de recursos para lograr una mayor tecnificación y productividad. Por ello los proyectos de reúso se desarrollan inicialmente con riego por gravedad y recién en las etapas más avanzadas se propone la tecnificación del riego, con el propósito de buscar abastecer más áreas con el mismo volumen de agua disponible. En ese sentido, se propone que el Proyecto evalúe si es ventajoso iniciar la

etapa piloto con un riego tecnificado. De lo contrario, se podría aprovechar los sistemas locales existentes de riego por gravedad, que además reducirían la inversión inicial de esta primera etapa. Tal vez se puede proponer ambos sistemas de riego con el propósito de evaluar su eficiencia y factibilidad económica.

Se puede proponer una situación intermedia para la Etapa Piloto, que pretenda evaluar las alternativas tecnológicas, aplicando las dos modalidades de riego en la mitad de las áreas seleccionadas, además de mantener la filtración y cloración para asegurar un vertimiento aceptable del agua no reusada, o en su defecto, concretar la implementación de un reservorio piloto para proyectar los beneficios de almacenar el agua a ser utilizada en la época seca.

12.5.1. Unidad de filtración

El efluente de lagunas de estabilización se caracteriza por su alto contenido de algas fitoplanctónicas y otra materia orgánica, que si bien es provechoso para lograr una buena fertilidad de los suelos y la alta nutrición de los cultivos, es un factor restrictivo cuando se pretende efectuar el riego tecnificado. Por tanto la implementación de esta unidad de filtración estará supeditado a definir si se mantiene la propuesta de riego tecnificado.

No se puede dejar de resaltar que si bien la filtración es un requisito para regar con sistemas tecnificados, este proceso está reduciendo la cantidad de materia orgánica y nutrientes que son bien aprovechados por los cultivos, por tanto su implementación aumentará los requerimientos de fertilización artificial.

El proceso de filtración es más justificable si parte del efluente de la PTAR se descarga a un cuerpo receptor, a fin de no exceder las concentraciones de sólidos disueltos, DBO y DQO requeridos por la normatividad para aprobar el vertimiento. También se ha indicado que si se logra almacenar los excedentes del efluente para ser aprovechados

en la época seca, quedaría descartado el vertimiento referido.

12.5.2. Tanque de cloración

La desinfección por cloración es un proceso necesario cuando no se alcanza la calidad sanitaria exigida por el reúso. En el punto 3.1.2 se ha explicado que el efluente de la PTAR San Antero si alcanza una concentración de coliformes termo tolerantes de $4.5E+3$ NMP/100 ml, valor suficiente según la normatividad para el riego de forrajes y pastizales naturales, por tanto no sería necesario realizar cloración. También se indicó que la presencia de cloro residual puede generar un impacto negativo en la supervivencia de la microflora del suelo.

El Proyecto Preliminar está sustentando este proceso de desinfección para alcanzar los requerimientos de calidad exigidos por la normatividad para el vertimiento del efluente de la PTAR, situación que sucedería con el agua residual no utilizada en la época lluviosa, salvo que se almacene.

Solo en el caso del riego de áreas verdes de contacto primario, como los campos deportivos, si sería obligatorio realizar la desinfección para alcanzar menos de 1,000 CTT/100 ml exigido por la normatividad. En tal sentido y de acuerdo con lo propuesto sería un caudal no mayor de 2 l/s que requeriría una desinfección antes de regar las mencionadas áreas verdes. En tal sentido, la cloración solo se efectuaría para los pequeños volúmenes de 173 m³ diarios orientados a dicho reúso, reduciendo significativamente el costo de desinfección que demandaría toda el agua de la PTAR.

12.5.3. Conducción del agua hasta las áreas de reúso

Tanto el bombeo como el uso de tuberías a presión dependen de la decisión de implementar un riego tecnificado. De lo contrario, se podría utilizar el sistema de conducción y riego existente, tales como canales y surcos.

Es relevante la elección de las áreas que serán regadas, a fin de estimar la longitud de las tuberías y la capacidad de bombeo, en función al volumen de agua a ser utilizado y las diferencias de altura entre el punto de bombeo y las áreas regadas.

Por último, la incorporación de nuevas áreas para el riego de pastizales naturales, no contempladas en la Propuesta Preliminar, de hecho modificará los requerimientos de tuberías en función a la localización de estos lotes previamente elegidos.

12.5.4. Sistema de riego

También los requerimientos de dispositivos y accesorios estarán en función de la elección del sistema de riego elegido, que en el caso de riego tecnificado implicará la adquisición de mangueras y emisores en función de la extensión de las áreas seleccionadas.

12.5.5. Inversión futura en reservorio piloto de almacenamiento

En el punto 3.4 se ha mencionado que una tercera etapa de desarrollo del Proyecto estaría orientada a duplicar las áreas regadas con el mismo caudal disponible, mediante el almacenamiento del agua residual tratada en la época lluviosa para luego ser utilizada en la época seca. Para que esta propuesta sea viable será necesario evaluar previamente la factibilidad de implementar estos reservorios. Por ello se recomienda que en esta Primera Etapa del Proyecto se implemente un reservorio piloto que permita analizar las ventajas de almacenar el agua por varios meses hasta utilizarse en la época seca. Esta experiencia piloto permitirá que en las siguientes etapas se pueda masificar el uso de esta alternativa para un mejor aprovechamiento del recurso. Además esos largos periodos de retención permitirán alcanzar niveles de calidad muy altos sin necesidad de aplicar la cloración.

La evaluación económica considera este componente. Sin embargo, como se trata de

una instalación no contemplada en la propuesta inicial del Proyecto, se tendría que evaluar la posibilidad de financiar esta inversión adicional con los recursos que se logren ahorrar en las modificaciones propuestas en otras actividades de implementación.

12.6. Inversiones requeridas

Si bien el presupuesto preliminar ya fue estimado para la rehabilitación de la PTAR y la implementación del sistema de riego, en los puntos anteriores se ha cuestionado la necesidad de ejecución de algunos gastos o la elección de alternativas menos costosas, criterios que podrían modificar considerablemente la inversión final en esta Propuesta.

12.6.1. Rehabilitación de la PTAR

La principal modificación de inversión en el rubro de la rehabilitación de la PTAR podría estar vinculada a la tecnología que finalmente se elija para lograr la remoción de los lodos de la laguna primaria y que en la propuesta inicial representa el 90.5% de la inversión estimada. Con cargo a realizar los cálculos respectivos, la alternativa de remover los lodos secados en la propia laguna, en lugar de dragarlo y secarlo, podría reducir a menos del 30% el costo inicialmente estimado. A ese ahorro se podría añadir lo asignado para la construcción de los lechos de secado de lodos, que ya no serían válidos si se efectúa el secado en la propia laguna.

Una menor inversión en las actividades de implementación antes mencionadas, permitiría reorientar parte de esos costos evitados a nuevas tareas ahora propuestas, tales como la implementación de dispositivos de entrega e interconexión entre lagunas más largos que los estimados inicialmente para mejorar la hidráulica de los flujos y para las arquetas de desagüe que permitan drenar totalmente las lagunas en las próximas remociones de lodos.

12.6.2. Implementación del Sistema de riego

También en el rubro de la implementación de riego se podría modificar la inversión estimada en la propuesta inicial, si se evalúa que el riego tecnificado no sería muy bien acogido por los productores a los que debemos incentivar para el reúso. Tal vez esa alternativa se deba postergar para una etapa más avanzada del Proyecto, cuando se busque ampliar las áreas regadas con el caudal disponible de la PTAR (etapa 3).

De elegirse el riego por gravedad, todo el presupuesto de US\$ 19,000 asignado a este rubro podría ser ahorrado. Solo tendría que definirse si se debe implementar las unidades de filtración y cloración para lograr las exigencias de un vertimiento en la época de lluvias y que solo suman US\$ 5,000 del presupuesto. En todo caso, trasladar esos recursos a la implementación de reservorios para almacenar el agua residual no utilizada en la época de lluvias, sería más prometedor para la optimización del reúso propuesto.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

13. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DEL PROYECTO DE REÚSO EN SAN ANTERO

En esta sección se desarrolla la evaluación económica y social del Proyecto Piloto de reúso en San Antero con el fin de analizar la contribución que tendría su implementación en el bienestar de la población. Para ello se requiere establecer, desde el punto de vista de la sociedad, si los beneficios que se obtendrían superan a los costos en que se incurrirían, medido a través de los indicadores de rentabilidad económica del Proyecto (VAN, TIR).

Se ha tomado como referencia base la información sobre conceptualización, diseño, inversiones, costos de operación y mantenimiento para optimizar la PTAR de San Antero e implementar el respectivo sistema de reúso y riego, contenidas en la presentación de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del *“Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia”*.

También se ha tomado en cuenta el Informe *“Evaluación de la viabilidad del proyecto piloto para el reúso de aguas residuales en San Antero”*, elaborado por el Ing. Julio Moscoso, que contiene, entre otros, la identificación de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales que podrían generarse por el reúso de las aguas residuales en la

zona de influencia de dicha PTAR.

Como documento de referencia metodológica para la evaluación económica y social se ha utilizado la Guía para la Formulación de Proyectos Ambientales, elaborados por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia- DNP. A continuación, se detallan los resultados.

13.1. Balance oferta y demanda del recurso hídrico

En cuanto a la oferta del recurso hídrico, el caudal de diseño de la PTAR de San Antero es de 25 l/s, de los cuales se plantea destinar alrededor de 5 l/s para su reúso en el riego de 3,5 hectáreas para cultivo de forrajes en un terreno propiedad de la Alcaldía.

Respecto a la demanda del recurso hídrico, el caudal disponible de la PTAR permite destinar un volumen de 14,130 m³/mes (excepto octubre y noviembre en que se requiere 16,956 m³), para el riego de 3.5 hectáreas para el cultivo de forrajes.

BALANCE OFERTA DEMANDA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS DE LA PTAR SAN ANTERO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
OFERTA												
l/s	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
m ³ DIA	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
dia/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Vol mensual (m ³)	13,392	12,096	13,392	12,960	13,392	12,960	13,392	13,392	12,960	13,392	12,960	13,392
DEMANDA												
días para cubrir 3,5 Ha	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,06	2,06	2,48
Veces por semana	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	3,40	3,40	2,82
Puntos riego / día	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	9
Volumen mensual de agua para riego (m ³)	14,130	14,130	14,130	14,130	14,130	14,130	14,130	14,130	14,130	16,956	16,956	14,130
Balance O/D (m ³ /mes) con Oferta 5 l/s	-738	-2,034	-738	-1,170	-738	-1,170	-738	-738	-1,170	-3,564	-3,996	-738
Volumen adicional requerido en m ³ /mes	738	2,034	738	1,170	738	1,170	738	738	1,170	3,564	3,996	738
Caudal adicional de la PTAR por mes (l/s)	0.06	0.17	0.06	0.09	0.06	0.09	0.06	0.06	0.09	0.27	0.31	0.06
Balance O/D con caudal adicional de la PTAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a la presentación del Informe Final del Proyecto del 05 de agosto del 2022

De acuerdo a lo antes indicado, los caudales de oferta y demanda de aguas residuales del Proyecto, se encontrarían en equilibrio

13.2. Marco conceptual para la evaluación económica del proyecto

Valor económico del agua residual como bien ambiental

Una primera aproximación a la valoración del agua residual tratada, es asociarla a la valoración del agua como recurso ambiental. Si bien estos conceptos se aplican básicamente al agua en su estado natural o potabilizado, esta asociación se considera justificada, teniendo en cuenta lo siguiente:

- i. El valor de uso que tienen las aguas residuales tratadas.
- ii. Su carácter de sustituto del agua de fuentes naturales o del agua potable en determinadas actividades productivas.
- iii. Su impacto favorable en la preservación de la calidad ambiental de los respectivos cuerpos receptores, si se le compara con la descarga de aguas residuales sin tratar.
- iv. Su potencial de aprovechamiento cada vez mayor en el tiempo, en el contexto del estrés hídrico y cambio climático.

Un enfoque para establecer el Valor Económico Total (VET), es desagregarlo en categorías de valor. La clasificación y la terminología para los componentes del VET, establecida por John Dixon y Stefano Pagiola se detallan en la tabla 15.

Tabla 15: Componentes del valor económico total

Valor de uso	Valor de no uso
<ul style="list-style-type: none"> - Valor de uso directo - Valor de uso indirecto - Valor de opción² 	<ul style="list-style-type: none"> - Valor de existencia o legado

² Azqueta Oyarzun Diego, y Field Barry C. "Economía y Medio Ambiente". Tomos 1, 2 y 3. Edición Mc Graw Hill. Santa Fé de Bogotá D.C. Colombia, 1998, clasifica el valor de opción como de no uso.

Fuente: Dixon John y Pagiola Stefano. "Análisis Económico y Evaluación Ambiental" publicado en Environmental Assessment Sourcebook UPDATE, Banco Mundial, Abril 1998 N° 23.

Valor de uso directo

El valor de uso directo, conocido como valor de uso extractivo, consuntivo o estructural, deriva de bienes que pueden ser extraídos, consumidos o disfrutados directamente.

El valor de uso directo es generalmente el más fácil de valorar, en la medida que usualmente involucra cantidades observables de productos cuyos precios, en general, pueden ser también observados.

Valor de uso indirecto

También conocido como valor de uso no extractivo o valor funcional, se deriva de los servicios que el ambiente provee. Por ejemplo, los humedales a menudo filtran agua, mejorando la calidad de esta para los usuarios aguas abajo. En este caso el consumo de un individuo no reduce el consumo de los otros (consumo no rival, característica de los bienes públicos).

La medición del valor de uso indirecto es a menudo más difícil que la estimación del valor de uso directo. Las "cantidades" de los servicios que están siendo proveídos a menudo no ingresan a los mercados, por lo que sus "precios" son extremadamente difíciles de establecer.

Valor de existencia o de legado

En contraste con el valor de uso, el de no uso deriva de los beneficios que el ambiente puede proveer sin involucrar ninguna forma de uso, ya sea directa o indirectamente. Se funda en razones altruistas, y deseos de legado (herencia) a futuras generaciones

El valor de no uso es el tipo de valor más difícil de estimar, dado que en la mayoría de los casos, y por definición, no se refleja en el comportamiento de las personas, siendo

completamente no observable.

En la tabla 9 se presenta el valor económico total que podría atribuirse al impacto en la descontaminación de una fuente de agua al implementarse, por ejemplo, una planta de tratamiento de aguas residuales y/ el reúso de los efluentes tratados en la planta.

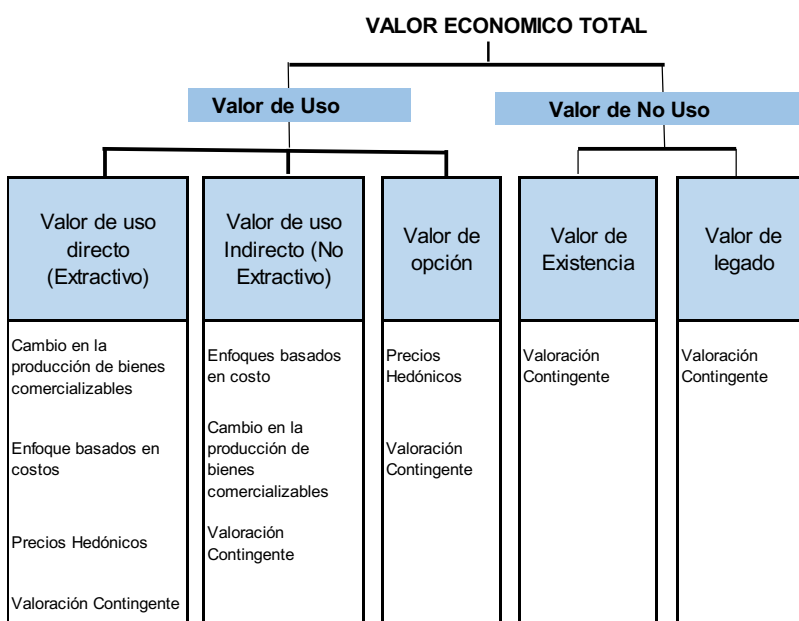
Tabla 16: Valor Económico total de la descontaminación de una fuente de agua

Valor de uso			Valor de no uso
Valor de uso directo	Valor de uso indirecto	Valor de opción	Valor de existencia
Extracción de: Alimentos Vegetales. Alimentos Animales.	Retención de sedimentos. Mantenimiento calidad del agua. Soporte a biodiversidad. Belleza escénica. Turismo/recreación.	Protección de biodiversidad. Potencial turístico.	Estética. Conservación del río.

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de la "Guía Metodológica de Valoración Económica de Bienes, Servicios e Impactos Ambientales". Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano, Barzev Radoslav, 2002.

En la ilustración 4 se presenta una clasificación de los métodos según la categoría de valor que mide su aplicación.

Ilustración 9: Valor Económico total y métodos de valoración



Fuente: "Análisis Económico y Evaluación Ambiental" publicado en Environmental Assessment Sourcebook, Banco Mundial, John Dixon y Stefano Pagiola, Abril 1998 N°23.

Metodología para la determinación del valor del agua residual tratada destinada a reúso

El concepto de precio del agua debe de entenderse, en un contexto de mercados formales o informales, como la compensación monetaria asociada a un intercambio de agua (valor de intercambio del agua). La teoría económica indica que en condiciones ideales, las fuerzas del mercado son las que determinan los precios y estos serán óptimos para la sociedad (maximización del bienestar). Una aproximación al precio (valor) del agua se obtiene analizando las transacciones de derechos de aprovechamiento en mercados "relativamente" competitivos, en los cuales no existen importantes asimetrías de información.

Sin embargo, en el caso de los recursos hídricos en general no existen mercados formales (y eficientes); en muy pocos países la legislación permite una libre transacción de aguas (entre las excepciones está Chile).

Teniendo en cuenta dicha limitante y en consideración a los alcances del presente proyecto, la valoración del agua residual tratada y reusada proveniente de la PTAR San Antero se centrará en su valor de uso, en términos del valor neto de las actividades económicas que generaría. De acuerdo con los alcances del presente proyecto, sus beneficios se focalizan en el impacto económico del cultivo de forrajes en 3.5 hectáreas, para lo cual se aplicará la metodología del excedente del productor.

13.3. Consideraciones metodológicas para la evaluación del proyecto

Para la evaluación económica del proyecto, se han tenido en cuenta principio y criterios metodológicos admitidos (y exigidos) para la valoración de los costos y beneficios desde el punto de vista de la sociedad, siguiendo además las pautas metodológicas y parámetros del sistema de inversión pública en Colombia. A continuación se presentan las principales consideraciones de la evaluación económica realizada.

Tratamiento de los costos

Los costos del proyecto deben reflejar su costo alternativo o real escasez para la economía, lo cual es posible de estimar a través de la valoración de los recursos requeridos por el proyecto, expresados en precios económicos. Para este fin se han utilizado las razón de precio cuenta (RPC) calculados para la evaluación económica de proyectos en Colombia contenidos en las Guía Metodológicas del Departamento Nacional de Planeación - DN³, que permiten convertir los costos de inversión y de operación y mantenimiento de un proyecto, de precios de mercado a precios económicos. En la Tabla 10, se presentan las RPC y la tasa social de descuento (TSD) vigentes para la evaluación económica de proyectos en Colombia.

³ En particular se ha tomado en cuenta la GUIA No 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES de la DNP

Tabla 17: Valor Parámetros para la Evaluación Económica - Colombia

Parámetros	Ítem	RPC	Comentarios
Relación Precios de Cuenta (RPC) ^{1/}	Obras físicas, materiales e insumos	0.8	
	Maquinaria y equipo	0.8	
	Mano de obra calificada	1.0	
	Mano de obra no calificada	0.6	
	Otros	0.8	
Tasa Social de descuento ^{2/}		9%	Para proyectos ambientales: 9.5 %, con horizonte de 0-5 años, 6.4% con horizonte de 6-25 años y de 3.5 % con horizonte de 26 años en adelante.

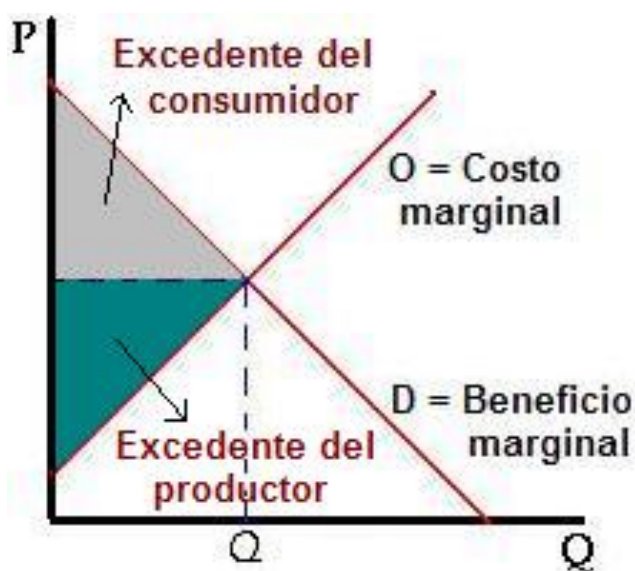
1/ Fuente: Manual Metodológico General para la Identificación, Preparación y Evaluación de Proyectos. Guías Sectoriales de Proyectos. Guía No 1. de Proyectos Ambientales.

2/ Fuente: Resolución Número 1092/2022 de la Dirección Nacional de Planeamiento de Colombia}

Tratamiento de los beneficios

Para la valoración de los beneficios de las actividades generadas por el reúso de las aguas residuales tratadas, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

a) Metodología del excedente del productor (EP)



El EP mide el retorno neto al productor por la venta de bienes y servicios menos el costo de pagar los insumos (factores) de la producción.

En el caso de los usuarios agrícolas el método estima el excedente del productor, esto es, la diferencia entre los ingresos generados por la venta descontando el costo de producción.

La estimación de beneficios económicos se determina como la diferencia de las situaciones con y sin proyecto de los productos, corregidos con sus razones de precios de cuenta.

$$Bxp = (VBPcp - CPcp) - (VBPsp - CPsp)$$

Donde:

Bxp = Beneficio por Excedente del Productor

VBP = Valor Bruto de la Producción

CP = Costo de Producción.

cp = Con proyecto

sp = Sin proyecto

b) Medición de los beneficios de un proyecto en un mercado derivado

En el marco de la evaluación económica de un proyecto se admite, previa justificación, que la valoración de los beneficios del proyecto pueda realizarse en un mercado derivado, por ejemplo:

- En una zona en la cual la potencialidad de desarrollo económico se ve limitada fundamentalmente por la carencia de energía eléctrica, los beneficios del proyecto de distribución de electricidad pueden medirse en términos del

excedente neto de las actividades económicas generadas por el suministro eléctrico.

- En una zona sin carretera, los beneficios del proyecto de construcción de una carretera de penetración, pueden medirse en términos del excedente neto de las actividades económicas generadas por la existencia de la nueva vía.

De otro lado, existe la necesidad de recurrir a un mercado derivado para la adecuada medición de beneficios de un proyecto, cuando los precios de los bienes ofrecidos por el proyecto (mercado principal) están distorsionados (por ejemplo mediante políticas de subsidios) y el mercado no refleja el verdadero valor del bien para la economía, en términos de disposición a pagar.

En el caso de la producción de forrajes en la zona de San Antero, se cumplen las condiciones para que desde el punto de vista de la evaluación económica, sea conveniente que sus beneficios en vez de ser medidos en el mercado de forrajes (mercado principal) sean valorados en el respectivo mercado derivado (mercado de productos pecuario). Las razones conceptuales son las siguientes:

- La carencia estacional de agua para riego en San Antero es crítica para la producción y disponibilidad de forrajes y por tanto para la actividad pecuaria. Como se ha indicado, la ganadería bovina en Córdoba es estacional, lo que implica trasladar el ganado a otras regiones del país al inicio de la época seca, situación que limita el desarrollo de la industrialización de las cadenas cárnica y láctea que brindaría un valor agregado a esta actividad. De hecho, un representante de los ganaderos locales manifestó que tenían muchos problemas para alimentar su ganado en la época seca, por tanto consideraban que el reúso permitiría que mantengan sus pastizales todo el año y produzcan forraje silo para atender la demanda de esos meses, evitando así la necesidad de vender sus animales y poderlos engordar por un periodo más prolongado, logrando así una mayor rentabilidad de su actividad.

Bajo esta consideración, desde el punto de vista de la evaluación económica de proyectos, se justifica atribuir al reúso del agua residual, la disponibilidad de forrajes todo el año y a partir de ello la viabilidad del normal desarrollo de la actividad ganadera bovina en San Antero.

- De otro lado, los precios de los forrajes no responden a un comportamiento de mercado, lo cual se evidencia en la intervención de la municipalidad en su distribución, mediante el uso de sus recursos para la adquisición de forrajes para su entrega a los pequeños ganaderos. Como se indicó, en el 2021 la municipalidad de San Antero ha gastado 200 millones de pesos (50,000 dólares) para adquirir las 400 toneladas de forraje que se entregaron en forma gratuita a los ganaderos locales.

En consecuencia, los precios de los forrajes presentan distorsiones y no miden su verdadero valor, lo cual limita su uso para medir los verdaderos beneficios económicos del proyecto.

Bajo las consideraciones señaladas se ha optado por medir los beneficios económicos del proyecto en el mercado de la actividad pecuaria bovina, que en Colombia presenta características competitivas por la concurrencia de numerosos ofertantes y demandantes.

Costos imputables al propósito de reúso en el caso de PTAR existentes

Los beneficios atribuibles al proyecto deben guardar correspondencia con los costos efectivamente requeridos por la sociedad para obtener tales beneficios. Este criterio de evaluación está asociado al análisis marginal de costos y beneficios de un proyecto, que hace necesario diferenciar previamente las situaciones con y sin proyecto.

En el caso de las PTAR existentes, es importante tener en cuenta este principio

considerando que los requerimientos de reposición o ampliación de su infraestructura se justifican esencialmente porque deben seguir brindando en forma adecuada el servicio de saneamiento básico, independientemente que el efluente sea o no destinado al reúso, por lo cual sus costos deben ser imputados (aun cuando estén asociados a un proyecto de reúso) al servicio de saneamiento. En este sentido, en los proyectos de reúso de PTAR existentes, los costos de rehabilitación o reposición de la PTAR (y los costos regulares de operación y mantenimiento) deben ser imputados al propósito de saneamiento básico y no al propósito de reúso.

Solo en el caso que una PTAR existente necesitara de nuevas inversiones y mayores costos de operación y mantenimiento para el reúso de sus efluentes, debido por ejemplo al requerimiento de mejora de la calidad del agua residual para cumplir parámetros exigidos normativamente en una actividad económica específica (por ejemplo, riego de cultivos de tallo bajo para exportación), se justificaría imputar tales costos al propósito de reúso.

En la tabla 11, se presenta la asignación de costos de inversión, operación y mantenimiento en el caso del reúso de una PTAR existente, entre la entidad operadora de la PTAR y el usuario del agua residual tratada.

Tabla 18: Asignación de costos por el reúso de efluentes de la PTAR

Naturaleza del Costo (o beneficio)	Entidad que asume el costo/Beneficio	Comentarios
Costo: Reposición, rehabilitación, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento existente	Entidad que opera la PTAR	Se trata de un costo que debe ser asumido por la entidad que opera la PTAR y recuperado vía tarifas cobradas a sus usuarios. No corresponde ser trasladado al propósito de reúso del agua residual tratada.
Costo: Por un mayor nivel de calidad de tratamiento (de requerirse)	Usuario del agua residual tratada	Lo asume el comprador del agua residual para hacer viable el reúso del efluente.

Costo: Transporte del agua residual a lugares de reúso	Usuario del agua residual tratada	Costo imputable al propósito de reúso
Beneficio: Costo evitado (ahorro) de cargos por vertimientos a un cuerpo receptor	Operador de la PTAR que se beneficia del costo evitado.	Beneficia a la entidad que opera la PTAR al dejar de pagar cargos por vertimientos a un cuerpo receptor, en caso existan los cargos y el efluente se reúse en vez de verse.

Fuente: Elaboración propia con base a "Economic viability of recycled water schemes". Australian Water Recycling Centre of Excellence, Noviembre 2013

Teniendo en cuenta lo señalado, en la evaluación del presente proyecto se han considerado solo los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema de reúso y riego, excluyendo por tanto los costos de optimización de la PTAR.

13.4. Estimación de costos del proyecto a precios económicos

Los costos de inversión y de operación y mantenimiento a precios de mercado para realizar el presente análisis están contenidos en la presentación del Informe Final del Proyecto de reúso de las aguas tratadas de la PTAR de San Antero (PPT del 05 de setiembre del 2022).

En aplicación de las consideraciones metodológicas del acápite 5.3 se han estimado los costos económicos de inversión y operación y mantenimiento, aplicando las razones de precios de cuenta del Sistema de Inversión Pública de Colombia, diferenciando las intervenciones en la PTAR y en el Sistema de Reúso y Riego.

Costos de inversión, operación y mantenimiento de la PTAR a precios privados y económicos

A continuación, se detalla los costos de inversión, operación y mantenimiento de la PTAR a precios privados (de mercado) y económicos.

Tabla 19: Inversiones de Optimización de la PTAR a Precios de Mercado y Económicos

Ítem	Descripción	Inversiones a precios mercado		RPC	Inversión a precios económicos (US \$)
		Pesos	US \$		
1	Preliminares	185,916,770	41,623	0.80	33,298
2	Excavaciones y rellenos	39,489,800	8,841	0.80	7,073
3	Optimización planta de tratamiento	376,571,278	84,306	0.80	67,445
Total de la obra (costo directo)		601,977,848	134,769		107,815
Administración, Imprevistos Y Utilidad (AIU) 31.13%		187,374,625	41,949	0.80	33,559
Total de la obra (incluido AIU)		789,352,473	176,718		141,374.56

Fuente: Elaboración Propia con base a presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del "Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia".

Tabla 20: Costos de Operación y Mantenimiento de la PTAR a Precios de Mercado y Económicos

A. Costos anuales de O y M de la PTAR

Actividad	Periodicidad	Costo por actividad (Pesos)	Costo anual		RPC	OPEX anual a precios económicos (US \$)
			Pesos	US \$		
Operario	Mensual	2,000,000	24,000,000	5,373	0.60	3,224
Poda de pastos	Mensual	2,000,000	24,000,000	5,373	0.80	4,298
Medir PH	Diaria	2,500	912,500	204	1	204
Remoción lodos sección bafle	Anual	25,000,000	25,000,000	5,597	0.80	4,478
Muestro y monitoreo vertimientos	2 veces año	4,000,000	8,000,000	1,791	1	1,791
Otras actividades e imprevistos	Anual	10,000,000	10,000,000	2,239	0.80	1,791
Total anual			91,912,500	20,577		15,786

Fuente: Elaboración Propia con base a presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del "Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia".

B. Costos quinquenales de O y M de la PTAR

Actividad	Periodicidad	Costo por actividad (Pesos)	Costo quinquenal		RPC	OPEX quinquenal a precios económicos (US \$)
			Pesos	US \$		
Remoción lodos lagunas	Cada 5 años	150,000,000	150,000,000	33,582	0.80	26,865

Fuente: Elaboración Propia con base a presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del "Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia"

Costos de inversión, operación y mantenimiento del reúso y riego a precios privados y económicos

A continuación, se detalla los costos de inversión, operación y mantenimiento del reúso y riego a precios privados (de mercado) y económicos.

Tabla 21: Inversiones del Sistema de Reúso y Riego a Precios de Mercado y Económicos

Ítem	Descripción	Inversiones a precios mercado		RPC	Inversión a precios económicos (US \$)	
		Pesos	US \$			
1	Sistema solar	121,314,739	27,160	0.80	21,728	
2	Sistema de riego	109,106,008	24,426	0.80	19,541	
3	Otros	776,217,875	173,778	0.80	139,022	
Total de la obra (costo directo)		1,006,638,622	225,364		180,291	
	Administración, Imprevistos Y Utilidad (AIU)	31.13%	313,331,354	70,148	0.80	56,118
Total de la obra (incluido AIU)			1,319,969,976	295,511		236,409.18

Fuente: Elaboración Propia con base a presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del "Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia"

Tabla 22: Costos de Operación y Mantenimiento del Sistema de Reúso y Riego a

Precios de Mercado y Económicos

A. Costos anuales de O y M del Sistema de Reúso y Riego

Estructura, equipo o elemento	Actividad	Periodicidad (cuando)	Costos Actividad (Pesos)	Costo anual		RPC	OPEX anual a precios económicos (US \$)
				Pesos	US \$		
Tanque acumulador	Tomar muestra para medir pH, Salinidad y conductividad.	Una vez por semana	5,000	270,000	60.45	1	60
	Tomar muestra para medir parámetros según plan de monitoreo	Una vez al año	4,500,000	4,500,000	1,007.45	1	1,007
Sistema Fotovoltaico para generación de energía	Limpieza de paneles solares.	Una vez cada seis meses	1,000,000	2,000,000	447.75	0.80	358
Batería de filtración	Reposición de carbón activado	Una vez al año	6,000,000	6,000,000	1,343.26	0.80	1,075
Red matriz de riego	Reposición y cambio de accesorios	Cuando este o dañado	500,000	500,000	111.94	0.80	90
Costo total anual de operación del sistema de reúso y riego				13,270,000	2,970.85		2,590

B. Costos quinquenales de O y M del Sistema de Reúso y Riego

Estructura, equipo o elemento	Actividad	Periodicidad (cuando)	Costos Actividad (Pesos)	Costo anual		RPC	OPEX quinquenal a precios económicos (US \$)
				Pesos	US \$		
Caseta de equipos	Pintura de puertas y ventanas (apropiación anual)	Cada 5 años	1,000,000	1,000,000	223.88	0.8	179
Batería de filtración	Mantenimiento general de pintura (apropiación anual)	Cada 5 años	5,000,000	5,000,000	1,119.39	0.8	896
	Reposición de válvulas y/o accesorios (apropiación anual)	Cada 5 años	3,000,000	3,000,000	671.63	0.8	537
Costo total quinquenal de operación del sistema de reúso y riego				9,000,000	2,014.90		1,612

C. Costos bianuales de O y M del Sistema de Reúso y Riego

Estructura, equipo o elemento	Actividad	Periodicidad (cuando)	Costos Actividad (Pesos)	Costo anual		RPC	OPEX bianual a precios económicos (US \$)
				Pesos	US \$		
Sistema Fotovoltaico para generación de energía	Revisión y cambio de rodamientos y sello de la electrobomba	Cada 2 años	1,500,000	1,500,000	335.82	0.80	269
Costo total bianual de operación del sistema de reúso y riego				1,500,000	335.82	0.80	269

Fuente: Elaboración Propia con base a presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del "Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia"

13.5. Estimación de beneficios del proyecto a precios económicos

En el acápite 6.3.2. se justificó, desde el punto de vista conceptual y metodológico que la medición de beneficios para la evaluación económica del Proyecto se realizaría en el mercado de la actividad pecuaria, a partir de la producción de forrajes en 3.5 hectáreas con el reúso del agua residual de la PTAR San Antero. El proceso para esta evaluación fue el siguiente:

- a) Se estimó la cantidad de forrajes que se dispondría anualmente explotando 1.0 Ha, para lo cual se consideraron los rendimientos por Ha. de la variedad King Grass y el número de cortes durante el año, deduciendo mermas, a partir de bibliografía especializada⁴. Los cálculos correspondientes se presentan en la tabla 16 de acuerdo al cual por cada hectárea cultivada se podría obtener 537,

⁴ Alarcón Licea, Roberto; Herrera Puebla y otros, Producción de King Grass como alimento para el ganado vacuno con riego por aspersión de baja intensidad. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. ISSN: 1010-2760, Vol 23, N° 2 / 2014.

600 Kg de forraje al año.

- b) A partir de la cantidad de forraje anual disponible y parámetros técnicos del consumo promedio de forraje por cada cabeza de vacuno (de 500 Kg), se estimó que una hectárea dedicada a la producción de forraje permitiría alimentar a 29 cabezas de vacunos por año. Esta estimación se basó en el documento “Como Determinar la carga animal por hectárea”⁵. Con base al documento “Manual de costos y análisis financiero para el sistema productivo de ganadería de ceba en la Orinoquía colombiana”⁶ se establecieron los precios unitarios de venta (US \$ 1.34/kg) y costos de producción unitarios (US \$ 0.70/Kg) de ganado vacuno. La información correspondiente se presenta en la tabla 17.
- c) Con base a la información de la producción de ganado vacuno y el precio por Kg de ganado en pie (en Colombia), se estableció el Valor Bruto de la Producción (VBP) anual de la producción de ganado, atribuible al cultivo de forrajes con el reúso de 5 l/s de la PTAR San Antero en las 3.5 Has. disponibles para el Proyecto. El VBP del Proyecto se estima en US \$ 68,005/año. A partir de la producción anual de ganado vacuno y el correspondiente costo unitario de producción, se estimó el Costo Anual de Producción (US \$ 35,025), que permitió establecer el Valor Neto de la Producción anual (US\$ 32,480). Los cálculos correspondientes se presentan en la tabla 18.
- d) Se considera que los precios de venta de la producción del ganado vacuno en Colombia, presentan condiciones de competencia (conurrencia de numerosos ofertantes y demandantes), por lo cual reflejan su valor económico y no requieren de ajustes para la presente evaluación.

Tabla 23: Parámetros Técnicos para la Evaluación Económica-Producción de

⁵ Disponible en <https://infopastosyforrajes.com/calculos-zootecnicos/como-determinar-la-carga-animal-por-hectarea/>

⁶ AGROSAVIA. Adriana María Molina Romero, Hernando Flórez Díaz, Manuel Eduardo Ostos Triana. Manual de costos y análisis financiero para el sistema productivo de ganadería de ceba en la Orinoquía colombiana. Colombia. 2021

Forrajes

Producción de forraje para corte	Variedad King grass	
	Cantidad	Unidad de medida
Área de cultivo	1	Há
Rendimiento del cultivo	112,000	kg FV / Há / corte
Periodo de corte del cultivo	60	días
N° de cortes al año	6	cortes/año
Forraje Verde anual	672,000	kg FV / Há / año
Pérdidas estimadas (por efecto del sist. Corte)	20%	kg FV
Forraje Verde Disponible anual	537,600	kg FV / Há / año

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Parámetros Técnicos y económicos para la Evaluación Económica-Producción de Ganado

Producción de Ganado Estabulado	Vacuno macho Ceba	
	Cantidad	Unidad de medida
Peso vivo	500	kg
Porcentaje de consumo	10%	del Peso vivo
Consumo diario de FV	50	kg FV/animal/día
Consumo anual de FV	18,250	kg FV/animal/año
Cantidad total de animales por Hectárea	29	U.A./Há/año
Precio ganado gordo Kilo en pie - Macho Ceba	6,000	Pesos colombianos
Precio ganado gordo Kilo en pie - Macho Ceba	1.34	(US\$/kg en pie)
Costo producción por Kg	0.7	(US\$/kg)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Beneficio Neto Anual del Proyecto

Valor Bruto de la Producción Anual

A. N° cabezas alimentada año por Ha. de producción de forraje	29
B. Peso por cabeza de ganado vacuno en pie (Kg.)	500
C. N° de hectáreas cultivadas	3.5
D. Total de Kg de ganado en pie ofertadas/año	50,750
E. Precio por Kg. de ganado en pie (US \$)	1.34

F. Valor Bruto de la Producción Anual (US \$)	68,171
--	---------------

Costo de Producción Anual

A. Total de Kg de ganado en pie ofertadas/año	50,750
B. Costo de Producción por Kg. de ganado (US \$)	0.7
C. Costo de Producción Anual (US \$)	35,525

Beneficio Neto Anual (VBP-Costo Producción)	32,646
--	---------------

Fuente: Elaboración Propia

13.6. Evaluación económica del proyecto

Consideraciones y resultados

Las consideraciones para la evaluación económica del Proyecto, sustentadas en los numerales 6.3, 6.4 y 6.5 del presente documento se resumen a continuación:

- a) Los costos de inversión y operación y mantenimiento imputables al proyecto corresponden exclusivamente al sistema de reúso y riego, a precios económicos.
- b) Los beneficios del proyecto se miden a través del Valor Neto de la Producción de vacunos, atribuible al cultivo de 3.5 hectáreas de forraje, a partir del reúso de agua residual tratada en la PTAR de San Antero.
- c) Los flujos netos del proyecto se presentan en el Tabla 19. La actualización de los flujos de costos y beneficios del Proyecto se efectúa aplicando la tasa social de descuento del 9.5 %, normada por el Sistema de Inversión Pública de Colombia.

Los resultados de la evaluación señalan que el Proyecto Piloto de Reúso de Aguas Residuales de la PTAR de San Antero resulta económicamente rentable al presentar un VAN de US \$ 24,971.

Tabla 26: Evaluación del Proyecto a Precios Económicos (en US \$)

Periodo	Inversiones Sistema reúso y riego	Costos O y M Sistema Reúso y Riego*	Total Costos	Beneficios Actividad Ganadera			Flujo Neto	Factor actualización (9.5 %)	Flujo Neto Actualizado
				VBP	Costos	Benef Neto			
0	236,409		236,409				-236,409	1.00000	-236,409
1		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.91324	27,448
2		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.83401	24,842
3		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.76165	22,892
4		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.69557	20,719
5		4,202	4,202	68,171	35,525	32,646	28,443	0.63523	18,068
6		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.58012	17,280
7		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.52979	15,923
8		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.48382	14,412
9		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.44185	13,280
10		4,471	4,471	68,171	35,525	32,646	28,175	0.40351	11,369
11		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.36851	11,076
12		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.33654	10,024
13		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.30734	9,237
14		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.28067	8,360
15		4,202	4,202	68,171	35,525	32,646	28,443	0.25632	7,291
16		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.23409	6,973
17		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.21378	6,425
18		2,859	2,859	68,171	35,525	32,646	29,787	0.19523	5,815
19		2,590	2,590	68,171	35,525	32,646	30,055	0.17829	5,359
20		4,471	4,471	68,171	35,525	32,646	28,175	0.16282	4,588

* Incluye costos periódicos (quinquenales y bianuales)

VAN Económico	24,971
TIR Económico	11.0%

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de sensibilidad

El VAN del proyecto es cero si:

- a) La Inversión se incrementa en 10.6 %
- b) El VBP de la actividad ganadera se reducen en 4.2 %

- c) Los costos de producción ganadera se incrementan en 8%

En caso se imputarán al proyecto los costos de inversión y de operación y mantenimiento de la optimización de la PTAR detallados en el numeral 5.4.1., el Proyecto no sería económicamente rentable al tener un VAN negativo de - US \$ 294,684 (Ver Anexo 2).

Estimación del costo unitario del agua de reúso

Se ha estimado el precio unitario del agua de reúso (US \$/m³), considerando lo siguiente:

- Valor actual de los costos de inversión del sistema de reúso y riego, a precios de mercado.
- Valor actual de los costos de operación y mantenimiento del sistema de reúso y riego, a precios de mercado.
- Valor actual de los volúmenes de agua reusada (m³)

El costo unitario (US \$/m³), se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Valor actual de costos de inversión, o y m}}{\text{Valor actual de volúmenes de agua reusada}}$$

Para actualizar los flujos se consideró la tasa de descuento del 9.5 %.

Tabla 27: Estimación del Precio por M3 del agua reusada

Periodo	Inversiones Sistema reúso y riego a precios mercado (US \$)	Costos O y M Sistema reúso y Riego a precios mercado(US \$)	Total Costos Sistema reúso y riego a precios de mercado (US \$)	Volumen de agua distribuida (M3)*
0	295,511		295,511	
1		2,971	2,971	157,680
2		3,240	3,240	157,680
3		2,971	2,971	157,680
4		3,240	3,240	157,680

5		4,583	4,583	157,680
6		3,240	3,240	157,680
7		2,971	2,971	157,680
8		3,240	3,240	157,680
9		2,971	2,971	157,680
10		4,583	4,583	157,680
11		2,971	2,971	157,680
12		3,240	3,240	157,680
13		2,971	2,971	157,680
14		3,240	3,240	157,680
15		4,583	4,583	157,680
16		3,240	3,240	157,680
17		2,971	2,971	157,680
18		3,240	3,240	157,680
19		2,971	2,971	157,680
20		4,583	4,583	157,680
VAC (9.5 %)	295,511	29,508	325,020	1,389,536

* Corresponde a un caudal de 5 l/s

a. Valor actual de costos de inversión, O y M	325,020	US \$
b. Valor actual de m ³ de agua residual distribuida	1,389,536	M ³
Costo unitario de agua de reúso	0.23	US \$/M ³

Fuente: Elaboración Propia

El costo unitario del agua residual de reúso (US \$ 0.23/m³) refleja en un 91% (US \$/ 0.21/m³) al valor actual del costo de inversión del sistema de reúso y riego a precios de mercado (US \$ 295,511), dividido entre el valor actual del volumen del agua residual reusada y distribuida (1,389,536 m³). El 9% restante del costo unitario (US \$/ 0.02/m³) corresponde al valor actual de los costos de operación y mantenimiento, a precios de mercado (US 29,508), dividido igualmente entre el valor actual del volumen del agua residual reusada y distribuida durante el horizonte de evaluación del proyecto (1,389,536 m³).

El costo de inversión del sistema de reúso y riego a precios de mercado (US \$ 295,511), considerado para la presente evaluación está contenida en la presentación (PPT) de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+, sobre

el Informe Final del “Proyecto de Reúso de las Aguas Tratadas por la PTAR Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia”.

Cabe notar que en el Informe “Evaluación de la viabilidad del proyecto piloto para el reúso de aguas residuales en San Antero”, elaborado por el Ing. Julio Moscoso, el sistema de riego para el Proyecto Piloto de Reúso, tiene un costo de inversión de US \$ 19, 096.4.

Análisis de la opción hipotética de reúso en forestación

De manera referencial se ha realizado la evaluación económica de la opción hipotética de reúso de las aguas residuales de la PTAR de San Antero en la forestación de 3.5 hectáreas. Se asume que la forestación se desarrollaría con carácter de servicio ambiental y que la extracción y venta de la madera se efectuaría el año 20. Esta opción no resulta económicamente viable, al presentar un VAN de - US \$ 71,110. Los detalles del análisis realizado se presentan en el Anexo 3 del presente documento.

13.7. Evaluación social del proyecto

Según la Guía de proyectos ambientales aprobados por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia - DNP, los beneficios sociales de los proyectos están relacionado con las actividades que ofrecen una mejora en las condiciones de vida de los pobladores, gracias al adecuado aprovechamiento de los recursos y a una mejor convivencia con la naturaleza.

San Antero está clasificado como municipio de sexta categoría en Colombia (Contaduría General de la Nación, 2020), lo que representa ser de las administraciones con menos recursos para invertir, teniendo en cuenta que para el año 2016 el 87.9% de los municipios del país se encuentran dentro de esa categoría (Delgado, Cárdenas y

Fuentes, 2019)⁷.

Al respecto se puede señalar los siguientes impactos positivos del Proyecto:

- Empleos permanentes generados por la actividad ganadera: se estima que en Colombia, la actividad ganadera crea 2.5 empleos por cada 100 animales⁸.
- Permitiría abastecer con forrajes a los pequeños ganaderos que ven afectada su actividad económica y por tanto sus ingresos a partir de diciembre del año cuando los potreros con pastos naturales que utilizan para alimentar su ganado vacuno comienzan a secarse, por la escasez de lluvias.

De acuerdo con la presentación de fecha 05 de setiembre del 2022, elaborada por ACUAMEINER y CReW+ sobre el Informe Final del Proyecto, en los predios donde se planea desarrollar el proyecto están asentadas 25 familias de agricultores que no están interesadas en el proyecto propuesto de forraje para animales. Al respecto, la reubicación de dichas familias tendría que ser adecuadamente gestionada para evitar tensiones de orden social.

⁷ Dustin Tahisin Gómez Rodríguez y otros. Prueba piloto del Plan Nacional de Fomento de la Economía Solidaria y Cooperativa Rural - PLANFES: estudio del caso del municipio de San Antero, Córdoba, Colombia.

⁸ Cadena Cárnica Bovina. Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social. Colombia. Diciembre 2020

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

14. SUGERENCIAS PARA LA GESTIÓN DEL PROYECTO DE REÚSO EN SAN ANTERO

En base al reporte del Proyecto de Reúso elaborado por Crew+ y las apreciaciones obtenidas en las entrevistas con las instituciones involucradas y las visitas de campo, se procedió a citar algunas sugerencias que se consideran básicas para asegurar los buenos resultados de esta experiencia de reúso piloto, actividad clave para promoverlo a mayor escala y en otras regiones de Colombia.

14.1. Rehabilitación de la PTAR

La rehabilitación de la PTAR es requisito para asegurar la calidad requerida por las actividades de reúso, por tanto además de realizar la Propuesta definitiva en los próximos meses, será necesario asignar un profesional experimentado que dirija las actividades programadas. Dependiendo de los compromisos que se acuerden entre GIZ y el Municipio de San Antero, se entiende que un funcionario de esta última institución será nombrado responsable de la implementación. También, se entiende que Crew+ contará con un supervisor de las tareas programadas para este fin.

14.2. Operación y mantenimiento de la PTAR

Tan importante como la rehabilitación de la PTAR es asegurar su buena operación y

mantenimiento por lo menos durante todo el tiempo que se ejecute el Proyecto Piloto.

Si bien actualmente la Empresa Aqualia es el operador de la planta, la visita realizada nos ha permitido observar que esta gestión es muy limitada, ya que no existe un operador y las labores de mantenimiento como limpieza del espejo de agua, manejo de flujos, retención de sólidos gruesos en el pretratamiento y la remoción de lodos de las lagunas no se efectúan en forma oportuna, generando una ineficiente operación de la PTAR y con ello la generación de un efluente de baja calidad.

Aun cuando los funcionarios de Aqualia manifestaron su interés en apoyar el Proyecto de Reúso, se considera que esta Empresa no participará en la medida de las expectativas requeridas para alcanzar los logros del Proyecto. Por tanto, se sugiere que el Municipio de San Antero realice los trámites correspondientes para asumir la administración directa de la PTAR antes de iniciar las actividades de rehabilitación.

14.3. Estudios edafológicos y del acuífero demandados por la norma

El Artículo 6 de la Resolución 1256 menciona que para efectos del otorgamiento de la concesión de uso de las aguas residuales, el usuario receptor deberá presentar a la Autoridad Ambiental la siguiente información técnica para el manejo y prevención de los riesgos asociados al uso de las aguas residuales:

- El Balance Hídrico del sistema de reúso donde contemple el volumen entregado por el usuario generador.
- Identificación de los riesgos potenciales a los recursos naturales renovables derivados del uso de las aguas residuales.
- Medidas preventivas que se deben aplicar para evitar los riesgos potenciales identificados, con sus respectivas actividades para seguimiento.

- Evaluación de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, a escala 1:25.000 o de mayor detalle.
- Un plan de monitoreo y seguimiento de la calidad y cantidad del agua residual empleada en el reúso, el cual identifique entre otros elementos el Punto de Control y el Punto de Entrega. La Autoridad Ambiental definirá la frecuencia del monitoreo de calidad en el acto administrativo mediante el cual se pronuncie.
- Demostrar mediante mediciones in situ, la velocidad de infiltración en el suelo u otros procedimientos técnicamente establecidos por la ciencia y la técnica, que las cantidades de agua y los tiempos de aplicación en los diferentes períodos estacionales, satisfacen los requerimientos de agua del suelo y/o del cultivo y que no se generan cantidades excedentes de la misma como escorrentía o percolación. En este sentido para el uso agrícola, las tasas de aplicación (m³/día-ha) y el tiempo de aplicación (días/año) del agua residual no deben ocasionar cambios en la salinidad, sodicidad y toxicidad del suelo que limiten, restrinjan o impidan los usos agrícolas actuales y potenciales del área de aplicación, teniendo como directrices por tipo de cultivo las establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR o las de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

Dado que se requiere de varias evaluaciones, se considera poco probable que pueda ser asumido directamente por los pequeños agricultores y ganaderos interesados en el reúso. Por tanto, se recomienda que en este caso del Proyecto Piloto esta tarea sea asumida por el Municipio de San Antero.

14.4. Tramitación de la concesión de agua para el uso de las agua residuales

En la Etapa Piloto sería el Municipio de San Antero quien debería tramitar la concesión de agua residual para el reúso, ya que la producción de forraje silo y la instalación de

una barrera cortavientos son tareas que estarán a cargo del propio Municipio.

Tal vez la actividad que escapa de esta responsabilidad sería el riego de pastizales naturales de algunos potreros privados de los vecinos a la PTAR y que deberían solicitar dicha concesión. Sin embargo, por tratarse de un Proyecto Piloto, puede ser válido que esta actividad temporalmente sea incorporada a todo el paquete y forme parte del trámite de dicha concesión.

14.5. Gestión del reúso en el proyecto completo

La gestión de la primera etapa piloto del proyecto estará en manos del Municipio de San Antero, pero las siguientes etapas de desarrollo en donde el reúso se extenderá progresivamente de 16 a 52 ha y que no son de propiedad del Municipio, sino de los agricultores y ganaderos privados, será necesario organizar una Comisión, Asociación o Junta de regantes de las aguas residuales de San Antero, quienes deberá asumir finalmente la gestión de estas etapas.

Es por ello que como parte de las actividades de la Etapa Piloto, se debería capacitar a los usuarios potenciales en los procesos validados en esta etapa, y luego apoyarlos en la organización de un gremio oficial que integre a todos los usuarios interesados. Esta institución privada asumiría como primera tarea el trámite de la concesión de las aguas residuales, sustentada en un compromiso previo con el operador de la PTAR para garantizar el volumen y calidad de agua a ser utilizada.

14.6. Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento de la PTAR San Antero actualmente son asumidos por la Empresa operadora privada Aqualia y son financiados por el cobro de las tarifas de agua y saneamiento que pagan los usuarios atendidos con este servicio en la ciudad de San Antero.

En el caso que el Municipio de San Antero asumiera la operación de la planta para garantizar una adecuada ejecución del Proyecto, será necesario que esta institución asigne el presupuesto requerido de sus propios fondos. El Municipio no puede cobrar por este servicio a la ciudad, porque los usuarios formalmente están pagando por este servicio a la Empresa Aqualia, por lo que este financiamiento tendría que provenir del Programa Municipal de Apoyo a los ganaderos con forraje silo en la época seca, que como se explicó antes en 2021 gastó \$ 200 millones equivalentes a US\$ 50,000 anuales.

No se debería descartar la alternativa o forma complementaria de asumir estos costos a través del pago que los usuarios urbanos entregan a Aqualia, siempre que se logre un acuerdo entre el Municipio y esta empresa para que la última transfiera recursos para tal fin.

14.7. Posibilidades de recaudar recursos por el servicio de reúso

El financiamiento de la operación y mantenimiento de la PTAR sería asumido por el Municipio de San Antero solo durante la etapa piloto del Proyecto entre 2022 y 2023, pero en las siguientes etapas se podría evaluar la posibilidad de que los agricultores y ganaderos asuman estos costos en compensación a los beneficios ya demostrados en la etapa piloto. Una evaluación de la mejora en la productividad y los ingresos de esta actividad agrícola y/o ganadera, sustentaría una Disposición a Pagar (DAP) de los usuarios por el agua residual utilizada.

Una evaluación para contrastar los costos del servicio de operación y mantenimiento de la PTAR, el valor y disponibilidad de fuentes alternativas y la DAP permitirían establecer una tarifa por tal servicio y finalmente llegar a un acuerdo con los usuarios.

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of green, blue, and grey, positioned at the top left of the page.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El reúso de las aguas residuales en Colombia es una práctica que aún no ha sido desarrollada, debido a que no existen muchas experiencias exitosas y la normatividad ha sido algo restrictiva para una promoción efectiva. Sin embargo, la presente evaluación ha permitido visualizar el importante potencial del reúso en la Región Caribe para regar pastos naturales durante la estación seca y la producción de forrajes silo entre otros cultivos.
2. El reúso de las aguas residuales en el riego de áreas verdes urbanas si muestra algunas experiencias exitosas en Cartagena, en donde la empresa prestadora oferta las aguas residuales crudas o pretratadas a entidades privadas, que luego las tratan hasta alcanzar la calidad necesaria para el riego de sus áreas verdes o campos deportivos. En otros casos se trata de hoteles y edificios que riegan sus áreas verdes internas con sus aguas residuales tratadas en miniplantas. En estos casos se recomienda que la Autoridad Ambiental verifique si el tratamiento aplicado logra aguas con menos de un huevo de helmintos y menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml cuando las áreas verdes son de contacto directo.
3. Las normas vigentes han establecido una amplia lista de parámetros físicos y

químicos potencialmente contaminantes a ser evaluados para saber si la calidad de las aguas residuales es suficiente para su reúso, incluyendo los coliformes totales y fecales, pero no aborda los helmintos parásitos humanos, que según la OMS constituyen el principal riesgo para la salud de los usuarios y consumidores de los productos regados. Por tanto, se recomienda que las autoridades sanitarias evalúen incluir este parámetro de huevos de helmintos, que luego del tratamiento siempre debe ser menor a un huevo por litro.

4. Para el desarrollo efectivo del reúso agrícola de las aguas residuales se requiere precisar algunos aspectos de la normatividad, mediante la elaboración de instrumentos complementarios como reglamentos y guías; se debe implementar proyectos piloto que permitan demostrar los beneficios del reúso y el manejo adecuado de los riesgos inherentes; y se debe capacitar a las autoridades ambientales para evaluar y acompañar mejor las experiencias propuestas, a las empresas operadoras para que asuman mejor el compromiso de tratar adecuadamente las aguas residuales destinadas al reúso y a los usuarios para que comprenderán los beneficios que les otorga el reúso, a la vez de aprender a manejar adecuadamente los riesgos inherentes a esta práctica.
5. Si bien existe el reúso informal en algunos municipios, las empresas operadores aun no cobran a los usuarios por el servicio del tratamiento de las aguas residuales. Solo se ha reportado un caso en que la empresa prestadora ha acordado una tarifa de 180 pesos/m³ (US\$ 0.045/m³) por el agua pretratada. Consideramos que cuando se demuestren los beneficios que genera el uso de las aguas residuales, las empresas prestadoras podrán establecer sus tarifas para generar ingresos adicionales, y que por lo menos aseguren un tratamiento sostenible.
6. El desarrollo de nuevos proyectos piloto en zonas como La Guajira u otras con

alto estrés hídrico es recomendable para el aprovechamiento gradual y mejorar el potencial del reúso en el país.

7. Las entrevistas y visitas realizadas en el viaje del 2 al 6 de mayo de 2022 permitieron tener una visión más clara de las posibilidades de reúso en el Proyecto Piloto de San Antero. Por tanto, se ha validado la alternativa de reúso del efluente de la PTAR en el riego de forrajes de silo para abastecer a los ganaderos en la época seca. Adicionalmente, se ha considerado la implementación de una barrera cortavientos en los linderos de la PTAR para proteger la zona urbana de eventuales olores desagradables. Sin embargo, se sugiere evaluar además el riego de pastizales naturales de los potreros de los ganaderos vecinos.
8. Se está proponiendo ejecutar el Proyecto de Reúso de San Antero a través de 3 etapas entre los años 2022 y 2045. Una etapa piloto en 5 ha permitirá evaluar las alternativas de reúso elegidas, para luego promover los resultados exitosos que sustenten las siguientes etapas. En la primera se pretende aprovechar todo el caudal de la PTAR en 16 ha durante la época seca, y en la segunda llegar a regar hasta 52 ha en 2045 mediante el almacenamiento del agua residual durante la época lluviosa para ser usada en la seca.
9. La etapa piloto será realizada por el Municipio de San Antero y utilizará 5 ha de sus propios predios. Se recomienda que el Municipio asuma la operación de la PTAR para asegurar la calidad del efluente luego de su rehabilitación. También el Municipio podría asignar al Proyecto los recursos económicos que actualmente utiliza para la compra de forraje y que entrega a los ganaderos, en el entendido que logrará producir este alimento del ganado en sus predios habilitados para tal fin.

10. La rehabilitación de la PTAR es requisito para ejecutar el Proyecto de Reúso. La actividad principal es la remoción de lodos de la laguna primaria, por lo que se recomienda evaluar la posibilidad de lograr el secado de lodos en la propia laguna y luego extraerlo con maquinaria, alternativa que reduciría significativamente el costo estimado para el dragado y secado del lodo. También se recomienda instalar 3 unidades de abastecimiento y transferencia del agua entre las tres lagunas, al igual que construir arquetas de desagüe para lograr el drenaje total de las lagunas cuando se desee remover los lodos nuevamente.

11. Si bien se ha propuesto instalar un sistema de riego tecnificado que permitirá una mayor eficiencia en el uso del agua, se sugiere evaluar también el riego tradicional de gravedad por surcos, ya que es mejor aceptado por los agricultores locales. En tal sentido, se deberá evaluar la conveniencia y variación del dimensionamiento para implementar del sistema propuesto. También se debe evaluar la necesidad de implementar la unidad de cloración propuesta, ya que la alternativa de usar reservorios de almacenamiento en el periodo lluvioso eliminaría el vertimiento y mejoraría la calidad del agua en esos largos periodos de retención. Los posibles ahorros en el presupuesto asignado al Proyecto por la modificación de algunas actividades permitirían financiar las nuevas recomendadas.

12. La etapa piloto sería gestionada por la Municipalidad, mientras que las siguientes, por los usuarios de las aguas residuales. Por tanto, es necesario capacitarlos para que conozcan las ventajas del reúso y decidan asumir el financiamiento de las mejoras que demanda esta nueva alternativa tecnológica destinada a mejorar su productividad.

13. Respecto a la evaluación económica y social del proyecto, se concluye:

- Para una adecuada evaluación económica del proyecto de reúso del agua residual tratada en la PTAR San Antero, se ha considerado lo siguiente:
 - a) Los beneficios se miden en el mercado de ganado bovino
 - b) Se considera exclusivamente los costos del sistema de reúso y riego (no se incluyen los costos de la optimización de la PTAR).
- La rentabilidad económica del proyecto es positiva (VAN de US \$ 24,971), pero altamente sensible: el VAN se torna cero si el VBP de la actividad ganadera se reduce en 4.2 % o si los respectivos costos de producción se incrementan en 8 %.
- Desde el punto de vista social la implementación del proyecto tendría impacto positivo en el empleo e ingresos de la población local.
- Si se incluyen los costos de inversión, operación y mantenimiento de la optimización de la PTAR en la evaluación del proyecto, la rentabilidad económica sería negativa: VAN de - US \$ 294,684.
- En el caso hipotético que el agua residual tratada de la PTAR de San Antero en vez del cultivo de forrajes, se destinara a la forestación con carácter de servicio ambiental, el respectivo proyecto no sería económicamente rentable.
- El costo unitario del agua reusada, que resulta de dividir los valores actualizados de costos del sistema de reúso y riego del proyecto entre el valor actual de los volúmenes de agua reusada, alcanza a US \$ 0.23/M3.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de optimizar el sistema de reúso y riego

propuesto en el proyecto para reducir, de ser posible, su costo y de esta manera favorecer la viabilidad económica de las actividades de reúso



16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- + ABT México. 2022. Producción y manejo del ensilaje de maíz forrajero. AgriBioTech México.

<http://www.agribiotech.com.mx/test/wp-content/uploads/2016/01/Ensilaje-de-Maiz-Traduccion.pdf>
- + Acuameunier y CReW+ Presentación (PPT) Informe Final Proyecto “Diseño de detalle para la Optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) Optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento De Córdoba, Colombia”. Bogotá 05 de agosto 2022.
- + AGROSAVIA. Adriana María Molina Romero, Hernando Flórez Díaz, Manuel Eduardo Ostos Triana. Manual de costos y análisis financiero para el sistema productivo de ganadería de ceba en la Orinoquía colombiana. Colombia. 2021.
- + Alarcón Licea, Roberto; Herrera Puebla y otros, Producción de King Grass como alimento para el ganado vacuno con riego por aspersion de baja intensidad. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN: 1010-2760, Vol 23, N° 2 / 2014. abril-junio, 2014, pp. 40-44. Universidad Agraria de La Habana.
- + Análisis financiero de la producción de 10 hectáreas de Teca (*Tectona grandis* L.) en Santa Rosa, Guatemala /Adaptado de Chaves, E. 1991. Teca (*Tectona grandis* L.f.) árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE
- + Banda, C. G. 2007. Computational Fluid Dynamics Modeling of Baffled Waste

Stabilization Ponds. Ph.D. thesis. Leeds, UK: School of Civil Engineering, University of Leeds.

<http://sleigh-munoz.co.uk/wash/Mara/ThesisChimwemwe/Chim0.pdf>

- + CEGA-Fondo Nacional del Ganado-Fedegan, 1999. La estructura de comercialización y sacrificio del ganado gordo en Colombia.

http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10101&query_desc=au%3A%22FEDEGAN%22

- + CREW+. 2022 (1). Identificación de una aplicación de reúso legal del efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de San Antero, Córdoba, Colombia. Sanitation for Millions. Agencia de Cooperación Alemana (GIZ).

- + CREW+. 2022 (2). Optimización de la Planta de Tratamiento de aguas residuales y diseño de sistema de reúso de efluentes tratados, San Antero, Córdoba. Documento final. Programa Sanitation for Millions. Agencia de Cooperación Alemana (GIZ).

- + Contexto Ganadero, 2022. **La alimentación de los novillos para engorde.**

<https://www.contextoganadero.com/blog/la-alimentacion-de-los-novillos-para-engorde>

- + DANE. 2014. Tercer Censo Nacional Agropecuario

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#12>

- + Departamento Nacional de Planeación de Colombia- DNP. Guía N° 1 para Proyectos Ambientales.

- + Departamento Nacional de Planeación de Colombia- DNP. Guía N° 1 para Proyectos Ambientales.

- + Dustin Tahisin Gómez Rodríguez y otros. Prueba piloto del Plan Nacional de Fomento de la Economía Solidaria y Cooperativa Rural - PLANFES: estudio del caso del municipio de San Antero, Córdoba, Colombia. Otra Economía, vol. 14, n. 25: 96-112, enero- junio 2021
- + Economic viability of recycled water schemes. Australian Water Recycling Centre of Excellence, Noviembre 2013.
- + Función Pública. 2015. Decreto 1076 sobre el Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- + Holmann, Federico y Libardo Rivas, 2003. Evolución de los sistemas de producción de leche en el trópico latinoamericano y su interrelación con los mercados: un análisis del caso colombiano, versión electrónica, IICA, Cali.
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/1288>
- + IDEAM. 2022. Clima del Departamento de Córdoba, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/cordoba_texto.pdf
- + Libhaber, Menahem. 2015. Gestión del uso de las aguas residuales en Israel. Foro Internacional Tratamiento y Uso Seguro de Aguas Residuales en la Agricultura. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Lima.
- + Minambiente. 2021. Resolución 1256. Disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- + Ministerio de Desarrollo. República de Colombia- Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico Alcantarillado. Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Acueducto y Alcantarillado. Bogotá Junio 2002.
- + Moscoso, Julio y Luis Egocheaga. 2004. Una estrategia para la gestión de las aguas

residuales domésticas: haciendo más sostenible la protección de la salud en América Latina y otras regiones en Desarrollo. 153 pp. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC).

- + Moscoso, Julio. 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Lima.

<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/207/ANA0000023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- + NIT: 900.720.493-1 - Global Products International Colombia
- + Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot y otros, The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature |Vol 387 | 15 mayo 1997.
- + Tapia, J., Atencio, L., Mejía, S., Paternina, Y., & Cadena, J. 2019. Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sabanas secas del caribe en Colombia. Agronomía Costarricense, 43(2), 45-60.
- + OMS, 1989. Directrices Sanitarias sobre el uso de las aguas residuales en agricultura y acuicultura. Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra.
- + Venegas, Mario et. al. 2002. Estudio de Viabilidad de Ibagué, Colombia. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC).
- + Viloria de la Hoz, Joaquín. 2004. La economía ganadera en el departamento de Córdoba. Centro de Estudios Económicos Regionales. Banco de la Republica Cartagena de Indias.

<https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-43.pdf>

- + Weather Spark. 2022. El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Antero, Colombia

<https://es.weatherspark.com/y/22590/Clima-promedio-en-San-Antero-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

A decorative graphic consisting of three overlapping, wavy lines in shades of blue and green, positioned at the top left of the page.

17. ANEXOS

Anexo 1: Síntesis de la información disponible sobre reúso en general

1. Reuniones y visitas realizadas en el viaje del 2 al 6 de mayo

Reunión con la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS)

La CVS informó que en San Antero existen dos proyectos para sustituir las lagunas existentes con nuevas plantas de lodos activados. Se tiene información de la capacidad de diseño de las PTAR existentes, pero no se ha actualizado las cargas actuales.

La CVS considera posible otorgar concesiones de reúso de aguas residuales para el riego de los pastizales de los ganaderos locales. Sin embargo, al parecer no tiene políticas desarrolladas para promover el reúso, por tanto, indican que irán evaluando los casos que se presente para otorgarles la concesión de reúso. Propusieron que se promueva un programa de capacitación que incluya las corporaciones regionales como la CVS, a fin de orientar mejor la aprobación de los casos que se presenten.

Reunión con Aguas de Montería (Veolia)

Los funcionarios de Veolia manifestaron el interés en promover el reúso de las aguas residuales de las PTAR que opera, pero considera poco probable que los usuarios de otras fuentes de agua opten por el agua residual y menos acepten pagar por ella. También indicaron que las plantas de lagunas no pueden cumplir con los requisitos establecidos por la norma, ya que los efluentes tienen alto contenido de materia orgánica. En cambio, la nueva PTAR de Montería sí cumple con estas exigencias, ya que dispone de filtros percoladores y lodos activados con capacidad para tratar 300 l/s.



Fuente: Propia

Por todos los aspectos antes mencionados, Veolia propone desarrollar un proyecto piloto al oeste de Montería donde actualmente se cultiva arroz. También se habló de involucrar a los ganaderos para el riego de sus pastizales con los efluentes de las lagunas. Se recomendó involucrar a la Universidad de Córdoba, a fin de evaluar los beneficios y riesgo de esa experiencia, a la par de capacitar y promover un reúso seguro y productivo. Igualmente involucrar a otras instituciones relacionadas con el tema, tales como INCODER, Instituto de riego, Agencia Nacional de Tierras, CUS, Municipio de Montería y usuarios del reúso.

Reunión con Aqualia, prestador de San Antero

Los funcionarios de Aqualia manifestaron que la empresa estaría interesada en el reúso

de las aguas residuales tratadas en los 12 municipios que opera.

También confirmaron su interés en apoyar el Proyecto Piloto de San Antero, promovido por GIZ, en donde apoyarían la rehabilitación de las lagunas que actualmente tratan 20 l/s.

Reunión con la Municipalidad de San Antero

En una reunión muy productiva los funcionarios del Municipio explicaron que el problema de la poca disponibilidad de agua es muy grave en la época de sequía, obligando a los ganaderos a vender sus animales por falta de alimento, ya que sus pastizales manejados mediante el sistema de potreros desaparecen durante varios meses.

Es por ello que, el Municipio ha desarrollado un programa para comprar forrajes de silo y entregar a los ganaderos en la época seca. El año anterior (2021) han gastado 200 millones de pesos (50,000 dólares) para adquirir las 400 toneladas de forraje que se entregaron en forma gratuita a los ganaderos locales. Por tal razón el Municipio está sumamente interesado en el Proyecto Piloto de Reúso, a fin de que le permita establecer las pautas para producir el forraje silo requerido en los predios del municipio, en lugar de tener que comprarlo.

También explicaron los Planes del Municipio para el Desarrollo Urbano y Turístico, estimando que en 10 años podrían recibir hasta 180,000 turistas en las épocas de verano. En tal sentido, tendrán que desarrollar un plan de abastecimiento de agua y alcantarillado, así como ampliar las lagunas para tratar un mayor volumen de aguas residuales y evitar así la contaminación de las playas y los manglares que generen los vertimientos. Por ello consideran que el reúso sería la mejor alternativa para proteger estos ambientes naturales y turísticos.

Visita a la PTAR de San Antero

En la visita a la PTAR, los funcionarios del Municipio informaron que actualmente San Antero tiene una población de 30,000 habitantes, de los cuales 15,000 están conectados al sistema de alcantarillado.



Fuente: Propia

La visita permitió recorrer las 3 lagunas que operan en serie y observar la situación en que actualmente están operando. Se pudo ver que las lagunas están llenas de vegetación en todos sus taludes internos, incluyendo arbustos y árboles que de hecho pueden dañar la estructura de los diques. Igualmente se observó natas y vegetación flotante sobre la superficie de las lagunas.

Es evidente que la operación y el mantenimiento de la planta es muy limitada por parte del prestador Aqualia. A pesar de ello, la inspección visual nos permitió apreciar que el efluente tiene aparentemente una buena calidad según turbidez y coloración, lo que indicaría que aún no está sobrecargado ese sistema. Quedó abierta la discusión de quien debería operar el sistema luego de ser rehabilitada la PTAR por el Proyecto Piloto, a fin de garantizar la buena operación y mantenimiento requerida para lograr un reúso seguro y productivo. Se consideró la posibilidad de que el Municipio asuma esta labor, reemplazando al actual operador.

Reunión con ganaderos de San Antero

Se coordinó una reunión con algunos ganaderos vecinos aprovechando la visita a la PTAR, con el propósito de conocer sus opiniones sobre el reúso y del Proyecto Piloto propuesto.

Aun cuando en entrevistas anteriores realizadas por CreW+ indicaban una poca aceptación del reúso por parte de los agricultores, en esta oportunidad un representante de los ganaderos locales manifestó que tenían muchos problemas para alimentar su ganado en la época seca, por tanto consideraban que el reúso permitiría que mantengan sus pastizales todo el año y produzcan forraje silo para atender la demanda de esos meses, evitando así la necesidad de vender sus animales y poderlos engordar por un periodo más prolongado, logrando así una mayor rentabilidad de su actividad.

Es por lo expuesto que ofrecieron colaborar con la ejecución del Proyecto Piloto de Reúso, y si fuese posible también participar mediante el riego de algunos pastizales vecinos a la PTAR.

Reunión con la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique)

Los funcionarios de Cardique informaron que en Cartagena existen muchos casos de hoteles y edificios que tienen miniplantas de tratamiento de aguas residuales que luego utilizan para el riego de sus propias áreas verdes. Se trata de casos que no han solicitado concesiones de reúso en el entendido que están reciclando el agua dentro de la infraestructura de su actividad. Por ello consideran que la concesión de agua debería ser suficiente para facilitar que estos usuarios reciclen el agua utilizada.

Por otro lado, informaron que existen varios casos en Cartagena que reúsan las aguas residuales generadas en las nuevas urbanizaciones y que ellas mismas tratan sus aguas

para luego regar sus áreas verdes. Igualmente opinaron que si los usuarios pagan por la concesión de agua ya no deberían pagar por el reúso, pero que la aprobación de una autorización de reúso si debe incluir la evaluación del tratamiento, a fin de garantizar que logre la calidad requerida para tal reúso. También informaron que recién existen algunos casos que están evaluando para otorgar concesión de reúso, tales como el Proyecto de Desarrollo Urbano Serena del mar ubicado al norte de Cartagena y el Club de Golf en Caribana.

Mostraron su interés por promover el reúso, ya que esa región normalmente tiene un déficit hídrico, sin embargo, reconocieron que las áreas verdes de la ciudad de Cartagena son regadas con agua potable en la época seca. Por ello proponen que el almacenamiento de aguas residuales durante la época de lluvias podría hacerse mediante una descarga a lagunas naturales (ciénagas), que incluso podrían tener un uso recreativo.

Finalmente solicitaron que el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible elabore guías para aclarar puntos y saber cómo proceder para la evaluación de las demandas de reúso que reciban las corporaciones, instrumento que incluya el análisis del balance hídrico en las épocas seca y de lluvia, a fin de proponer incluso el almacenamiento para atender las limitaciones de dicha época seca.

Reunión con Aguas de Cartagena (Acuacar)

Los funcionarios de Acuacar informaron que en el Plan 21-24 han contemplado los ODS para agua, saneamiento y reúso, y que la Agenda de Cambio Climático promociona también la recirculación y el reúso. Por ello proponen el reúso en dos situaciones:

- + Zonas sin alcantarillado existentes en la zona norte que promuevan el riego de áreas verdes a nivel domiciliario, y
- + Zonas con alcantarillado, pero sin conexión al sistema central para que instalen

PTAR y rieguen sus áreas verdes.

En el caso Serena del Mar se han instalado PTAR compactas propias de la inmobiliaria y que luego utilizan para el riego de sus áreas verdes.

En el caso Caribana, en el cual Acuacar entrega el agua residual con tratamiento primario (antes de descargar al emisario submarino), la entidad reusante debe instalar una PTAR para un tratamiento adicional para el abastecimiento de un lago recreativo y el riego de áreas verdes. Mencionaron el problema es la intrusión salina en el acuífero costero de Cartagena y que genera un ingreso de agua salobre al sistema de alcantarillado. Por ello los 50,000 m³/mes de aguas residuales entregados a Caribana han obligado a seleccionar especies tolerantes como la grama nativa llamada Gaspal.

En el caso del casco urbano de Cartagena no existen experiencias de reúso, por tanto, se utiliza agua potable para regar 28 parques en época seca. Sugirieron que se podría promover la instalación de plantas compactas operadas por el municipio; sin embargo, el uso de agua potable para tal riego es factible porque la ciudad cuenta con 2 plantas potabilizadoras con capacidad para producir 55,000 m³ diarios, capacidad mayor que la actual demanda.

Reunión con la Inmobiliaria Serena del Mar

Este desarrollo urbano integral de 1,000 ha está localizado al norte de Cartagena en el kilómetro 11 de la carretera Cartagena-Barranquilla y colinda con una amplia área de playas. El proyecto nace hace 17 años y contempla la implementación física de diversas actividades y servicios, tales como zonas residenciales, hospital de alto nivel médico, universidad, colegios, centros comerciales, terminal terrestre, clubes de esparcimiento incluyendo un Golf de 18 hoyos, playas, navegación en lagunas interconectadas con canales hasta el mar, marina de embarcaciones recreativas, etc. Además, el aeropuerto internacional es vecino a la ciudad en desarrollo.

La empresa de servicios públicos CELCIA en consorcio con CNC del Mar contemplaba inicialmente un abastecimiento autónomo de agua, energía, internet y otros servicios para 70,000 habitantes proyectados. Inicialmente solicitaron a Acuacar la venta de agua en bloque, sin embargo, llegaron a un acuerdo para recibir los servicios de agua y alcantarillado de esa empresa, pero las aguas residuales si serían tratadas en sus 2 PTAR propias, para su posterior uso en el riego de las áreas verdes.

El Proyecto contempla que solo 300 ha serán utilizadas para el desarrollo inmobiliario, por tanto, las otras 700 ha constituyen lagunas, canales y áreas verdes naturales que deberán ser mantenidas con las aguas residuales generadas por la ciudad. Actualmente tienen 5 mini PTAR provisionales y usan toda el agua residual tratada, pero se está instalando las 2 PTAR definitivas que deberán tratar los 13,000 m³ de agua potable abastecidos por Acuacar. Sin embargo, se ha estimado un requerimiento de 17,000 m³ para el riego de áreas verdes, 7,000 de ellos para el Golf. Por tanto, tendrán un déficit de 4,000 m³ para el reúso. Por ello se está planeando recibir ese volumen de agua derivada antes del emisor submarino, para lo cual requieren utilizar especies tolerantes a la salinidad como la grama Gaspal en el área del Golf. Una referencia de costos es que lograron acordar 180 pesos/m³ de agua pretratada, lo que generará un costo de 700 pesos/m³ de agua tratada. El costo de agua potable es de 2,000 pesos/m³.

Reunión con la Corporación Autónoma Regional del Atlántico

Las primeras conversaciones con los funcionarios CAR Atlántico fueron sobre la norma de reúso, indicando que era muy complicado para ellos aplicar dicha norma. La duda es que no sabían si el uso del agua residual en el riego de las áreas verdes propias del usuario se puede tomar como reciclaje. Tampoco se entiende porque la norma indica que no aplica para fertilizar, cuando estas aguas tienen nutrientes utilizados por las plantas. Igualmente indicaron que no se tipifica los diferentes reúsos cuando cada caso tiene diferentes exigencias.

Informaron que formalmente han aprobado 3 concesiones, pero que existen muchos casos no formalizados. En todos los casos se trata de reúso para el riego de áreas verdes. Tienen conocimiento de 40 edificios que tratan y reúsan para regar sus áreas verdes.

También tienen conocimiento de 3 casos en que los efluentes de las PTAR de lagunas se utilizan para riego agrícola: Galapa, Luruaco y Caravaca. Consideran que todas las PTAR de los diferentes municipios que son operadas por AAA y Aguas del Sur podrían ofrecer sus efluentes para el riego de pastizales en las zonas ganaderas vecinas, por tanto, la CAR Atlántico tiene la voluntad de apoyar el reúso.

En el caso de la ciudad de Barranquilla, existen una PTAR de Lagunas y otra compacta operada por la AAA, que podría abastecer una ciénaga en época de sequía.

Reunión con la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla (Triple A)

Esta empresa tiene a su cargo la operación de Barranquilla y otros 14 municipios. Actualmente tiene 12 municipios con una cobertura de 100% de tratamiento, por tanto, estos municipios del noroeste tienen un potencial para reusar aguas residuales y lodos,



sin embargo, el reúso está limitado debido a que las PTAR no cumplen con las exigencias, lo que demanda mejorar el tratamiento.

Fuente: Propia

Mencionaron los casos de Tubará con una planta con 18 l/s de capacidad, pero en donde actualmente se tratan solo 2 l/s. Lo contrario es el caso de Polo Nuevo en donde la capacidad es de 25 l/s ya está recibiendo 35 l/s (sobrecarga).

En Barraquilla utilizan como fuente el río Magdalena, ya que es permanente y tiene una calidad adecuada. En la zona sur occidental operan la PTAR de lagunas El Pueblo que actualmente trata 1,000 l/s y vierte sus efluentes en un arroyo. Estas aguas tratadas podrían usarse para el riego del Club de Golf o lagunas recreativas.

Visita a la PTAR El Pueblo de Barranquilla

Una última actividad fue la visita de la PTAR de Lagunas El Pueblo, que, aunque no se pudo ingresar por problemas de coordinación, se logró apreciar la descarga del efluente a un arroyo. Se pudo visualizar una gran producción de espuma generada por una caída



de varios metros hasta el cuerpo receptor, lo que genera una falsa impresión de alta concentración de detergentes, aun cuando realmente se podría tratar de un batido de sustancias proteicas. Definitivamente la localización del efluente junto al arroyo no permite proponer una alternativa de reúso, a menos que se mueva la descarga hacia otro lugar que lo permita.

Fuente: Propia

2. Normas sobre reúso

Resolución 1256 (2021) del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, también sobre las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas

Destaca que el Documento CONPES 3934 de 2018 sobre “Política de crecimiento verde” establece dentro de sus líneas de acción, la promoción del uso del agua residual tratada como una estrategia para promover la bioeconomía. También indica que la Estrategia Nacional de Economía Circular formulada por el Gobierno Nacional en el 2019 contempla el reúso como una práctica para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.

Esta Resolución 1256 establece las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas. Sin embargo, indica que no aplica para el uso de las aguas residuales como fertilizante o acondicionador de suelos. También establece que se requiere una concesión de aguas para adquirir el derecho al uso de las aguas residuales como bien de uso público y que las cantidades (volumen o caudal) de agua requeridas para el reúso está sujeto a la disponibilidad definida por parte del Usuario Generador. Igualmente indica que el Usuario Receptor de Aguas Residuales es responsable del cumplimiento de las disposiciones establecidas en la presente resolución.

El Artículo 5 de la Resolución 1256, que aborda los usos y los criterios mínimos de

calidad, indica que las aguas residuales se podrán usar en la agricultura y en la industria, según los artículos 2.2.3.3.2.5 y 2.2.3.3.2.8 del Decreto 1076 de 2015 o la norma que los modifique adiciona o sustituya. Los criterios de calidad del agua residual para el uso agrícola deberán cumplir con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.9.5 también del Decreto 1076 de 2015 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, así como, con los criterios establecidos en la presente resolución.

El Artículo 6 de la Resolución 1256, sobre la Prevención, menciona que, para efectos del otorgamiento de la concesión de uso de las aguas residuales, el Usuario Receptor deberá presentar a la Autoridad Ambiental, la siguiente información técnica para el manejo y la prevención de los riesgos asociados al uso de las aguas residuales:

- + El Balance Hídrico del sistema de reúso donde contemple el volumen entregado por el Usuario Generador.
- + Identificación de los riesgos potenciales a los recursos naturales renovables derivados del uso de las Aguas Residuales.
- + Medidas preventivas que se deben aplicar para evitar los riesgos potenciales identificados, con sus respectivas actividades para seguimiento.
- + Para el uso agrícola se exige:
 - Una evaluación de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, a escala 1:25.000 o de mayor detalle.
 - Un plan de monitoreo y seguimiento de la calidad y cantidad del agua residual empleada en el reúso, el cual identifique entre otros elementos el Punto de Control y el Punto de Entrega. La Autoridad Ambiental definirá la frecuencia del monitoreo de calidad en el acto administrativo mediante el cual se pronuncie.
 - Demostrar mediante mediciones in situ, la velocidad de infiltración en el suelo u otros procedimientos técnicamente establecidos por la ciencia y la técnica, que las cantidades de agua y los tiempos de aplicación en los diferentes períodos estacionales, satisfacen

los requerimientos de agua del suelo y/o del cultivo y que no se generan cantidades excedentes de la misma como escorrentía o percolación. En este sentido para el uso agrícola, las tasas de aplicación (m³/día-ha) y el tiempo de aplicación (días/año) del agua residual no deben ocasionar cambios en la salinidad, sodicidad y toxicidad del suelo que limiten, restrinjan o impidan los usos agrícolas actuales y potenciales del área de aplicación, teniendo como directrices por tipo de cultivo las establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR o las de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

Decreto 1076 (2015) sobre el Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Establece en su Artículo 2.2.3.3.2.5. que se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, haciendo referencia a su vez al Decreto 3930 de 2010, art. 13: Uso agrícola. Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

El Artículo Transitorio 2.2.3.3.9.5, también del Decreto 1076 establece los siguientes criterios de calidad para uso agrícola:

- + El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5,000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- + El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1,000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.
- +

3. Proyecto de Reúso en San Antero (CreW+ 2022 A)

El Municipio de San Antero está ubicado en la Región del bajo Sinú, en la costa del Mar Caribe, por tanto, se trata de una zona cálida, de topografía bastante quebrada y ondulada y de tierras fértiles para la agricultura. La principal actividad económica de San Antero es la agricultura de maíz, arroz seco, sandía, ñame y yuca, luego le sigue la actividad pecuaria centralizada en la ganadería vacuna. Además, existen algún desarrollo de las actividad pesquera, comercial y turística. Un limitante permanente que tienen las actividades agropecuarias es la escasa disponibilidad de agua en la estación de estiaje (seca) que se presenta entre los meses de diciembre a marzo, por lo que el reúso de las aguas residuales tratadas es una opción para minimizar este grave problema.

San Antero actualmente cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) conformada por dos lagunas de estabilización facultativas y una laguna de maduración diseñadas para tratar de 25 l/s (2,160 m³/día). Sin embargo, la planta recibe actualmente un caudal promedio de 20 l/s (1,728 m³/día). También se ha estimado que al 2045 la población de San Antero generaría un caudal de 30 l/s. El estudio reporta una concentración de coliformes termo tolerantes (CTT) de 4.5E+3 NMP/100 ml, valor algo superior al máximo establecido por la norma para el riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, por tanto, se asume que el resto de los cultivos si se pueden regar con esa calidad. El tiempo de retención actual es de 15 días en la laguna primaria, tiempo suficiente para una total remoción de helmintos.

La Propuesta de Reúso de San Antero elaborada por CreW+ contempla una rehabilitación de la PTAR para garantizar la calidad del efluente requerido por el reúso propuesto, que incluye las actividades siguientes; reposición de rejilla, vertedero triangular y tubería de ingreso del afluente; dragado y disposición final de lodos de la laguna primaria en lechos de secado; limpieza de malezas y árboles en los diques interiores de las lagunas; e instalación de una canaleta Parshall a la salida de la laguna

de maduración y limpieza del tramo de canal perimetral. Se ha estimado una inversión de US\$ 222,800, de los cuales el 90.5% corresponde al dragado y disposición final de los lodos.

Las opciones de reúso recomendadas para el Proyecto Piloto, en función a la disponibilidad de los terrenos de propiedad del Municipio de San Antero en las zonas aledañas a la PTAR son:

- + El cultivo de los pastos de corte para ensilaje King Grass, Mombasa y Bachiarias en 3.72 ha para. Esta actividad estaría a cargo de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), bajo el modelo de comodato que maneja la alcaldía con organizaciones de productores del municipio.
- + El cultivo forestal conformado por una barrera corta vientos de 1.4 Km. en la zona perimetral de la PTAR, a fin de reducir el impacto sobre la población ubicada en la parte alta del Municipio y que reclama por la presencia de olores agresivos También daría cumplimiento a requerimientos de compensación forestal establecidos por la autoridad ambiental, como parte de las obligaciones de las licencias ambientales del municipio de San Antero.
- + En las áreas seleccionadas para el Proyecto Piloto de Reúso se instalaría un sistema de riego tecnificado compuesto por un tanque de cloración, una unidad de filtración, una unidad de recolección de agua filtrada, un cabezal de riego, una red de riego y emisores de riego, con costos estimados preliminarmente en USD 19,100.

Anexo 2: Evaluación económica del proyecto incluyendo costos de inversión, operación y mantenimiento de la PTAR (a precios económicos US \$)

Periodo	Inversión Infraestructura		Costos de O y M *		Total Costos	Beneficios Actividad Ganadera			Flujo Neto	Factor actualización (9.5 %)	Flujo Neto Actualizado
	PTAR	Sistema Riego	PTAR	Sistema Riego		VBP	Costos	Benef Neto			
0	141,375	236,409			377,784				-377,784	1.00000	-377,784
1			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.91324	13,031
2			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.83401	11,677
3			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.76165	10,868
4			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.69557	9,738
5			42,651	4,202	46,854	68,171	35,525	32,646	-14,208	0.63523	-9,025
6			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.58012	8,122
7			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.52979	7,560
8			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.48382	6,774
9			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.44185	6,305
10			42,651	4,471	47,122	68,171	35,525	32,646	-14,477	0.40351	-5,842
11			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.36851	5,258
12			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.33654	4,712
13			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.30734	4,385
14			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.28067	3,930
15			42,651	4,202	46,854	68,171	35,525	32,646	-14,208	0.25632	-3,642
16			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.23409	3,277
17			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.21378	3,050
18			15,786	2,859	18,645	68,171	35,525	32,646	14,001	0.19523	2,733
19			15,786	2,590	18,376	68,171	35,525	32,646	14,269	0.17829	2,544
20			42,651	4,471	47,122	68,171	35,525	32,646	-14,477	0.16282	-2,357
										VAN	-294,684

* Incluye costos periódicos (quinquenales y bianuales)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Evaluación del potencial reúso de las aguas residuales de la PTAR San Antero en forestación

La presente evaluación económica se ha realizado aplicando la Guía N° 1 para Proyectos Ambientales formulada por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia- DNP, la cual contiene:

- a) Los costos por hectárea a precios de mercado del establecimiento y mantenimiento (años 1 al 3) de las plantaciones y las razones de precios de cuenta para convertir los precios de mercado a precios económicos.
- b) La fórmula para estimar los beneficios anuales de la explotación forestal con fines de servicio ambiental.

A los referidos costos se han agregado los costos de inversión operación y mantenimiento del sistema de reúso y riego para la evaluación del proyecto de reforestación.

Igualmente a los beneficios del servicio ambiental se han agregado los ingresos por la venta de la madera (que se talaría el año 20 del proyecto).

Los costos, beneficios y los flujos de la evaluación y sus resultados, se muestran a continuación:

4. Estimación de costos

Tabla 1: Costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones protectoras año 1

CUADRO 1.A
 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
 PLAN ESTRATÉGICO DE BOSQUES EN COLOMBIA
 ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO
 COSTOS POR HECTÁREA A AÑO 1
 Densidad mínima de siembra: 1100 árboles/há
 Pesos de 2002 (adicionados un 10% respecto al 2021)

CATEGORÍA DE INVERSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO (\$)	V/TOTAL	COSTOS TOTALES	RPC	COSTOS TOTALES A PRECIOS SOCIALES (US \$)
				(\$)	(US \$)		
1. COSTOS DIRECTOS							
1.1 MANO DE OBRA							
Preparación de terreno	Jornal	10	14000	140000	31.34	0.6	18.81
Trazado	Jornal	3	14000	42000	9.40	0.6	5.64
Plateo y hoyado	Jornal	15	14000	210000	47.01	0.6	28.21
Transporte plántula (menor)	Jornal	3	14000	42000	9.40	0.6	5.64
Siembra	Jornal	6	14000	84000	18.81	0.6	11.28
Control fitosanitario	Jornal	3	14000	42000	9.40	0.6	5.64
Aplicación fertilizante	Jornal	2	14000	28000	6.27	0.6	3.76
Replante	Jornal	2	14000	28000	6.27	0.6	3.76
Limpias	Jornal	14	14000	196000	43.88	0.6	26.33
Adecuación de caminos	Jornal	2	14000	28000	6.27	0.6	3.76
Protección incendios	Jornal	3	14000	42000	9.40	0.6	5.64
Subtotal mano de obra				882000	197.46		118.48
1.2 INSUMOS							
Plántulas	Plántulas	1210	250	302500	67.72	0.8	54.18
Fertilizantes NPK	Kg	50	800	40000	8.96	0.8	7.16
Calfos	Kg	50	300	15000	3.36	0.8	2.69
Borax	Kg	5	1500	7500	1.68	0.8	1.34
Insecticida	Kg	2	4500	9000	2.01	0.8	1.61
Subtotal insumos				374000	83.73		66.98
TOTAL COSTOS DIRECTOS (1.1 + 1.2)				1256000	281.19		185.46
2. COSTOS INDIRECTOS							
Herramientas (5% de mano de obra)				44100	9.87	0.8	7.90
Transporte insumos (15% del costo de insumos)				56100	12.56	0.8	10.05
Asistencia Técnica (10% de mano de obra + insumos)				125600	28.12	0.8	22.50
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				225800	50.55		40.44
COSTO TOTAL ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO AÑO 1				1481800	331.74		225.90

Fuente: Elaboración propia con base a la GUIA N° 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES / GUIAS SECTORIALES DE PROYECTOS /DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - REPÚBLICA DE COLOMBIA

Tabla 2: Costos de mantenimiento de plantaciones protectoras año 2

CUADRO 1.B
 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
 PLAN ESTRATEGICO DE BOSQUES EN COLOMBIA
 MANTENIMIENTO PLANTACIONES PROTECTORAS PRODUCTORAS
 COSTOS POR HECTÁREA AÑO 2
 Densidad mínima de siembra: 1100 árboles/há
 Pesos de 2001 (adicionados un 10% respecto al 2000)

CATEGORÍA DE INVERSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO (\$)	V/TOTAL	COSTOS TOTALES	RPC	COSTOS TOTALES A PRECIOS SOCIALES (US \$)
				(\$)	(US \$)		
1. COSTOS DIRECTOS							
1.1 MANO DE OBRA							
Preparación de terreno	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Trazado	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Plateo	Jornal	7	14000	98000	21.94	0.6	13.16
Transporte plántula (menor)	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Siembra	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Control fitosanitario	Jornal	1	14000	14000	3.13	0.6	1.88
Aplicación fertilizante	Jornal	4	14000	56000	12.54	0.6	7.52
Replante	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Limpias (dos por año)	Jornal	18	14000	252000	56.42	0.6	33.85
Adecuación de caminos	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Protección incendios	Jornal	1	14000	14000	3.13	0.6	1.88
Subtotal mano de obra				434000	97.16		58.30
1.2 INSUMOS							
Plántulas	Plántulas	100	800	80000	17.91	0.8	14.33
Fertilizantes NPK	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Calfos	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Borax	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Insecticida	Kg	3.7	4500	16722	3.74	0.8	3.00
Subtotal insumos				96722	21.65		17.32
TOTAL COSTOS DIRECTOS (1.1 + 1.2)				530722	118.82		75.62
2. COSTOS INDIRECTOS							
Herramientas (5% de mano de obra)				21700	4.86	0.8	3.89
Transporte insumos (15% del costo de insumos)				14508	3.25	0.8	2.60
Asistencia Técnica (5% de mano de obra + insumos)				26536	5.94	0.8	4.75
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				62744	14.05		11.24
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO AÑO 2				593467	132.86		86.86

Fuente: Elaboración propia con base a la GUIA N° 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES / GUIAS SECTORIALES DE PROYECTOS /DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - REPÚBLICA DE COLOMBIA

Tabla 3: Costos de mantenimiento de plantaciones protectoras año 3

CUADRO 1.C

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

PLAN ESTRATEGICO DE BOSQUES EN COLOMBIA

MANTENIMIENTO PLANTACIONES PROTECTORAS PRODUCTORAS

COSTOS POR HECTÁREA AÑO 3

Densidad mínima de siembra: 1100 árboles/há

Pesos de 2001 (adicionados un 10% respecto al 2000)

CATEGORÍA DE INVERSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO (\$)	V/TOTAL	COSTOS TOTALES	RPC	COSTOS TOTALES A PRECIOS SOCIALES (US \$)
				(\$)	(US \$)		
1. COSTOS DIRECTOS							
1.1 MANO DE OBRA							
Preparación de terreno	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Trazado	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Plateo	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Transporte plántula (menor)	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Siembra	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Control fitosanitario	Jornal	1	14000	14000	3.13	0.6	1.88
Aplicación fertilizante	Jornal	2	14000	28000	6.27	0.6	3.76
Replante	Jornal		14000	0	0.00	0.6	0.00
Limpias (dos por año)	Jornal	12	14000	168000	37.61	0.6	22.57
Adecuación de caminos	Jornal	1	14000	14000	3.13	0.6	1.88
Protección incendios	Jornal	1	14000	14000	3.13	0.6	1.88
Subtotal mano de obra				238000	53.28		31.97
1.2 INSUMOS							
Plántulas	Plántulas	50	800	40000	8.96	0.8	7.16
Fertilizantes NPK	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Calfos	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Borax	Kg			0	0.00	0.8	0.00
Insecticida	Kg	3.7	4500	16722	3.74	0.8	3.00
Subtotal insumos				56722	12.70		10.16
TOTAL COSTOS DIRECTOS (1.1 + 1.2)				294722	65.98		42.13
2. COSTOS INDIRECTOS							
Herramientas (5% de mano de obra)				11900	2.66	0.8	2.13
Transporte insumos (15% del costo de insumos)				8508	1.90	0.8	1.52
Asistencia Técnica (5% de mano de obra + insumos)				14736	3.30	0.8	2.64
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				35144	7.87		6.29
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO AÑO 3				329867	73.85		48.42

Fuente: Elaboración propia con base a la GUIA N° 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES / GUIAS SECTORIALES DE PROYECTOS /DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - REPÚBLICA DE COLOMBIA

Tabla 4: Costos de gestión año 1 a 3

CUADRO 1.D
 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
 PLAN ESTRATEGICO DE BOSQUES EN COLOMBIA
 COSTOS DE GESTIÓN DEL PROYECTO POR HECTÁREA
 AÑOS 1 A 3
 (Costos base sobre un área a atender de 1000 há)
 Pesos de 2001 (adicionados un 10% respecto al 2000)

CATEGORÍA DE INVERSIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UNITARIO (\$)	V/TOTAL	COSTOS TOTALES POR HECTÁREA		RPC	COSTOS TOTALES A PRECIOS SOCIALES (US \$)
				(\$)	(\$)	(US \$)		
1. VEHÍCULOS	vehículo	Veh/mes	2000000	72000000	72000	16.12	0.8	12.90
2. PAPELERIA								
3. EQUIPOS	global			5500000	5500	1.23	0.77	0.95
4. DIVULGACIÓN					8050	1.80	0.8	1.44
4.1 Talleres	taller	5	350000	1750000	1750	0.39	0.8	0.31
4.2 Giras	Gira	5	600000	3000000	3000	0.67	0.8	0.54
4.3 Publicaciones	global			3300000	3300	0.74	0.8	0.59
5. ASISTENCIA TÉCNICA					77928	17.45	1.0	17.45
5.1 Ing. Forestales		1	2100000	75600000	75600	16.93	1.0	16.93
5.2 Trabajador Social		1	2100000	25200000	25200	5.64	1.0	5.64
5.3 Técnico Operativos		4	1000000	144000000	144000	32.24	1.0	32.24
6. SALARIOS					90000	20.15	1.0	20.15
6.1 Contador		1	1800000	64800000	64800	14.51	1.0	14.51
6.2 Asistente Administrativo		1	700000	25200000	25200	5.64	1.0	5.64
7. MONITOREO E INVESTIGACIÓN					5500	1.23	0.8	0.99
7.1. Diseño / Muestreo de parcelas			4400000	4400000	4400	0.99	0.8	0.79
7.2 Análisis y publicaciones de resultados	Plántulas		1100000	1100000	1100	0.25	0.8	0.20
TOTAL				425850000	258978	58		54

Nota: Se prevén unos costos totales de gestión para el proyecto de reforestación a \$258.978 por hectárea para los tres años, de los cuales en el primer año se considera que se ejecuta aproximadamente el 70%, dado que es donde más se enfatiza en la promoción, asistencia técnica y seguimiento a los proyectos. Para el segundo y tercer año se estima respectivamente el 20% y 10%.

Fuente: Elaboración propia con base a la GUIA N° 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES / GUIAS SECTORIALES DE PROYECTOS /DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - REPÚBLICA DE COLOMBIA

Tabla 5: Costos de establecimiento, mantenimiento y gestión del año 1 a 3

Periodo	Costos de establecimiento, Mtto y Gestión (US \$/Ha)	
	A precios de mercado	A precios económicos
Año 1	372.33	263.61
Año 2	144.46	97.63
Año 3	79.65	53.81

Fuente: Elaboración propia con base a la GUIA N° 1. DE PROYECTOS AMBIENTALES / GUIAS SECTORIALES DE PROYECTOS /DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - REPÚBLICA DE COLOMBIA

5. Estimación de beneficios

El análisis se ha realizado considerando a la madera dura fina Teca, variedad que se considera constituye un recurso forestal emergente en Colombia.

$$\text{Beneficio}_{i,j} = \frac{Vr_i}{n-1} * (\text{año}_j - 1) * \text{No hectáreas} * \text{frtipoproj}$$

Donde

$\text{Beneficio}_{i,j}$: Beneficio de los bienes y servicios de la categoría i en el año j.

Vr_i : Valor de los bienes y servicios de la categoría i por hectárea y por año según la Tabla 4

n : Período de maduración del proyecto, es decir, número de años que requiere para que las plantaciones se desarrollen completamente.

año_j : Año j en el que se estima el valor del beneficio

No hectáreas : Tamaño en áreas del proyecto

frtipoproj : Factor tipo de proyecto

Tabla 6: Valoración de beneficios

Valoración de Beneficios Ambientales

Vr_i	146.18
n	30
año_j	20
$\text{No} \dots \text{hectáreas}$	3.50
frtipoproj	0.88
Beneficio Año 20 (US \$)	294.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Parámetros de producción forestal

Producción forestal	Teca (<i>Tectona grandis</i> L.)	
	Cantidad	Unidad de medida
Turno o rotación	20	años
Densidad de plantación inicial	1100	árboles/Ha
N° Entresacas	3	
1ra entresaca (año 5)	50%	
2da entresaca (año 12)	180	árboles/Ha
3ra entresaca (final)	370	árboles/Ha
Total de volumen comercial por ha (año 25)	252.98	m3/ha

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Valor Bruto de la producción forestal

Valor Bruto de la Producción

A. Total volumen comercial (m ³ /ha)	252.98
B. N° de hectáreas cultivadas	3.5
C. Precio por m ³ de madera puesto en Bogotá (\$/m ³)	4,567,143
D. Porcentaje deducción costos de transporte y comercialización	25%
E. Precio por m ³ de madera en San Antero (US \$/m ³)	766.86
F. Valor Bruto de la Producción al Año 25 (US \$)	679,000.99

Fuente: Elaboración propia

6. Flujo de costos y beneficios

Tabla 9: Evaluación económica del proyecto de explotación maderera incluyendo solo costos de inversión, O y M de reúso y riego a precios económicos

Periodo	Inversiones Sistema reúso y riego	Costos O y M Sistema Reuso y Riego *	Total Costos	Beneficios y Costos Act. Forestal				Flujo Neto	Factor actualización***	Flujo Neto Actualizado
				Benef Servicios ambientales	Ingresos venta de madera **	Costos bosques	Benef Neto			
0	236,409		236,409		196,353		196,353	40,056	1.00000	-40,056
1		2,590	2,590	0		923	-923	-3,513	0.91324	-3,208
2		2,859	2,859	16		342	-326	-3,185	0.83401	-2,656
3		2,590	2,590	31		188	-157	-2,748	0.76165	-2,093
4		2,859	2,859	47		188	-142	-3,001	0.69557	-2,087
5		4,202	4,202	62		188	-126	-4,328	0.63523	-2,750
6		2,859	2,859	78		188	-111	-2,970	0.59702	-1,773
7		2,590	2,590	93		188	-95	-2,685	0.56111	-1,507
8		2,859	2,859	109		188	-80	-2,939	0.52736	-1,550
9		2,590	2,590	124		188	-64	-2,654	0.49564	-1,316
10		4,471	4,471	140		188	-49	-4,519	0.46582	-2,105
11		2,590	2,590	155		188	-33	-2,623	0.43780	-1,149
12		2,859	2,859	171		188	-18	-2,876	0.41147	-1,184
13		2,590	2,590	186		188	-2	-2,592	0.38672	-1,002
14		2,859	2,859	202		188	13	-2,845	0.36346	-1,034
15		4,202	4,202	217		188	29	-4,173	0.34160	-1,426
16		2,859	2,859	233		188	45	-2,814	0.32105	-904
17		2,590	2,590	248		188	60	-2,530	0.30174	-763
18		2,859	2,859	264		188	76	-2,783	0.28359	-789
19		2,590	2,590	279		188	91	-2,499	0.26653	-666
20		4,471	4,471	295		188	107	-4,364	0.25050	-1,093

* Incluye costos periódicos (quinquenales y bianuales)

VAN Económico -71,110

** Corresponde al valor actual de los ingresos por la comercialización de 258 m3 de madera/Ha, en el año 20, deduciendo un 25% costos de transp y gastos de comercialización.

*** De acuerdo a las Guía de Proyectos Ambientales del DNP, se considero la tasa social de descuento de 9.55% de 0-5 años y 6.4% del año 6-25 años.

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

El Proyecto de explotación forestal no resulta rentable al presentar un VAN negativo de - US \$ 71,110.

Financiado por



Co-implementado por



Co-ejecutado por



OEA | Más derechos para más gente

En alianza con



Ambiente

CRew+

The logo for CRew+ features the text "CRew+" in a bold, white, sans-serif font. Below the text are three stylized, white, wavy lines that sweep from left to right, suggesting movement or a dynamic environment.