

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ECOEficiencia del REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL
SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO, COMO
HERRAMIENTA DEL DESARROLLO HÍDRICO SOSTENIBLE**

POR

ING. GERARDO TRINIDAD JUÁREZ RAMÍREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

ENERO, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**ECOEficiencia del Reúso de Agua Residual Tratada en el
Sistema PTAR Santiago-Cárcamo Huajuco, como Herramienta
del Desarrollo Hídrico Sostenible**

POR

ING. GERARDO TRINIDAD JUÁREZ RAMÍREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS EN ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

DIRECTOR DE TESIS

DR. RENÉ ALBERTO DÁVILA PÓRCEL

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

ENERO, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**ECOEficiencia DEL REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL
SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO, COMO HERRAMIENTA
DEL DESARROLLO HÍDRICO SOSTENIBLE**

**POR
ING. GERARDO TRINIDAD JUÁREZ RAMÍREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS EN ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. RENÉ ALBERTO DÁVILA PÓRCEL**

**CO-DIRECTOR DE TESIS
DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA**

**EVALUADOR DE TESIS
M.C. SERGIO MARVIN GALVÁN MANCILLA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



TESIS
ECOEficiencia DEL REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL
SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO, COMO HERRAMIENTA
DEL DESARROLLO HÍDRICO SOSTENIBLE

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS EN ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA
ING. GERARDO TRINIDAD JUÁREZ RAMÍREZ

COMITÉ

DR. RENÉ ALBERTO DÁVILA PÓRCEL
DIRECTOR DE TESIS

DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA
CO-DIRECTOR DE TESIS

M.C. SERGIO MARVIN GALVÁN MANCILLA
EVALUADOR DE TESIS



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UANL
DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Presente:

Estimado Dr. Juárez:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que finalicé la revisión de la(el) Tesis(Trabajo final) con título “Ecoeficiencia del reúso de agua residual tratada en el sistema ptar santiago-cárcamo huajuco como herramienta del desarrollo hídrico sostenible”, que presenta el **Ing. Gerardo Trinidad Juárez Ramírez**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad del documento, dictamino que el mismo es **APROBADO** y la fecha del examen de grado será el 12/01/2018.

Sin otro particular por el momento, estoy a sus órdenes para cualquier duda o aclaración que consideren pertinente.

Atentamente

“ALERE FLAMMAM VERITATIS”

Cd. Universitaria, a 13 de Noviembre de 2017

DR. RENÉ ALBERTO DÁVILA PÓRCEL

Director de Tesis / Evaluador

Comité de Evaluación



“Educación de clase mundial,
un compromiso social”

DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO

SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
P R E S E N T E.-

Estimado Dr. Juárez Alvarado:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que finalicé la revisión del trabajo titulado **“ECOEficiencia del Reúso de Agua Residual Tratada en el Sistema PTAR Santiago-Cárcamo Huajuco como Herramienta del Desarrollo Hídrico Sostenible”**, que presenta Ing. Gerardo Trinidad Juárez Ramírez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental. Al respecto, me permito informar a Usted que después de haber leído y evaluado la calidad del documento, dictamino que el mismo es **APROBADO** y la fecha del examen de grado será 12 de enero de 2018.

Sin otro particular por el momento, quedo a la orden para cualquier duda o aclaración que considere pertinente.

A T E N T A M E N T E
“ALERE FLAMMAM VERITATIS”

Cd. Universitaria de NL, 17 de noviembre de 2017



DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA

Evaluador
Comité de Evaluación

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UANL
DR. CESAR ANTONIO JUAREZ ALVARADO
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Presente:

Estimado Dr. Juárez:

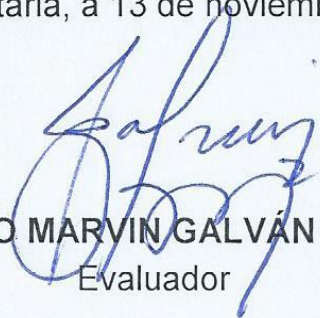
Por medio de la presente hago de su conocimiento que finalice la revisión de la Tesis con título **“ECOEFICIENCIA DEL REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO COMO HERRAMIENTA DEL DESARROLLO HÍDRICO SOSTENIBLE”**, que presenta el **Ing. Gerardo Trinidad Juárez Ramírez**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a usted que después de haber leído y evaluado la calidad del documento, dictamino que el mismo es **APROBADO** y la fecha del examen de grado será el 12 de enero de 2018.

Sin otro particular por el momento, estoy a sus órdenes para cualquier duda o aclaración que consideren pertinente.

Atentamente

“ALERE FLAMMAM VERITATIS”

Cd. Universitaria, a 13 de noviembre de 2017



M.C. SERGIO MARVIN GALVÁN MANCILLA
Evaluador



UANL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: GERARDO TRINIDAD JUÁREZ RAMÍREZ

Tema de la tesis: ECOEficiencia DEL REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO, COMO HERRAMIENTA DEL DESARROLLO HIDRICO SOSTENIBLE.

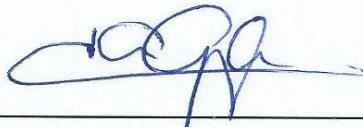
Este documento certifica la corrección DEFINITIVA
Del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió:


Arq. Ramón Longoria Ramírez



DR. CÉSAR ANTONIO JUÁREZ ALVARADO
Subdirector de Estudios de Posgrado

Ciudad Universitaria, a 13 de NOVIEMBRE de 2017.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIC

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

APROBACIÓN DE LA TESIS

ECOFICIENCIA DEL REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL SISTEMA PTAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO, COMO HERRAMIENTA DEL DESARROLLO HÍDRICO SOSTENIBLE

Dr. René Alberto Dávila Pórcel
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Jimmy Luis Loaiza Navia
CO-DIRECTOR DE TESIS

M.C. Sergio Marvin Galván Mancilla
EVALUADOR DE TESIS

Dr. César Antonio Juárez Alvarado
SUBDIRECTOR DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DEDICATORIA.

A MIS PADRES,
POR SU AMOR,
PACIENCIA Y CONSEJOS.

A LA MEMORIA DE
MI MAESTRO Y GUÍA,
ING. FRANCISCO GERARDO
CANTÚ RAMOS (Q.E.P.D),
POR TODO SU APOYO
TIEMPO Y ENSEÑANZAS.

AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo y colaboración brindada por las dos Instituciones que han sido la base y fortaleza en mi vida profesional: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., la noble empresa que nos proporcionó los medios para cursar nuestros estudios de maestría y aplicarlos en nuestra labor dentro de los procesos operativos de la misma, propiciando un entorno de práctica operativa que nos permitió compartir experiencias y aprender de grandes maestros del sector hídrico, otorgándonos la oportunidad de participar y retribuir un poco de lo recibido en sus proyectos de mejora. Extiendo mi reconocimiento a su labor, y un profundo agradecimiento al Licenciado Ramiro Estrada Sánchez y a la Licenciada Elizabeth Cuéllar Mijares, quienes, con enorme paciencia y grandeza humana, nos orientaron y apoyaron durante el período de aprendizaje, así como a las autoridades de Dirección General; Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento, la Coordinación Interinstitucional del Agua y muy especialmente a la Coordinación de Enlace e Innovación, quienes nos brindaron las facilidades y apoyo para la conclusión del presente estudio.

La Facultad de Ingeniería Civil, a través de la Sub-dirección de Posgrado y la Coordinación de la Maestría, que nos brindó la oportunidad de cerrar un ciclo pendiente y lograr el objetivo inicialmente planteado años atrás; especialmente a los Doctores Isaías Juárez Ramírez y Jimmy Loaiza Navia, así como al M.C. Sergio Galván Mancilla, quienes nos apoyaron a lo largo del camino contribuyendo con su gran experiencia a su consecución.

Al Doctor René Alberto Dávila Pórcel, director de la presente tesis, nuestra más sincera gratitud por haber creído en nosotros y apoyarnos en cada momento, a pesar de la magnitud del reto que implicó la labor desde el inicio para lograr el objetivo.

Un especial agradecimiento al Ing. Francisco Javier Sáenz Esparza, por la paciencia, apoyo enseñanzas y consejos que nos otorgó como especialista en el sector hídrico.

A Dios, que me ha permitido avanzar conforme a sus designios a pesar de mis decisiones; a mi familia, quienes me han sostenido cuando he estado a punto de claudicar, fortaleciendo mi esperanza, y a mis amistades que me impulsaron a seguir adelante a pesar de las adversidades y, sobre todo, a superar el bloqueo de sentir que ya no había más camino por recorrer.

*“Los problemas son asunto de perspectiva”
John C. Maxwell*

RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis es el demostrar, a través de un estudio de caso, que la “Ecoeficiencia” EE en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Residual Tratada (SAART) para su reúso, coadyuva al Desarrollo Hídrico Sostenible. El método se fundamenta en la implementación de los objetivos y preceptos aplicables del modelo establecido por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), desde la evaluación del proyecto, adaptación particular a un SAART, mejoras operacionales y tecnológicas, indicadores en base a normativas de la serie ISO 24500 y la evaluación de los resultados orientados al sistema y recursos hídricos, bajo el ámbito general del desarrollo sostenible.

La adaptación se centra en la incorporación de la EE como herramienta que interrelaciona las áreas ambientales, sociales y económicas en forma práctica en un SAART existente, a través de acciones y mejoras por parte de los responsables de la operación, a partir de la toma de decisiones ingenieriles con fundamento en la experiencia profesional, información científica actual, las ciencias ambientales y sus objetivos, ante las condiciones de escasez de los recursos hídricos disponibles en los ecosistemas.

La tesis se integra de cinco capítulos conformados por: una introducción; un análisis sobre la sostenibilidad hídrica y la situación actual del agua residual como un recurso desaprovechado y su reúso; un análisis sobre la EE y los principales métodos para su planificación, implementación y evaluación adaptados a un SAART existente; la implantación del método a un estudio de caso específico y sus resultados; y finalmente las discusiones, recomendaciones, factores limitantes y principales conclusiones de la investigación efectuada.

Como conclusión primordial de la presente tesis se establece la viabilidad de la implementación de la EE en la infraestructura y procesos de control y seguimiento de los SAART’s existentes, aportando un mecanismo práctico para mejorar la gestión del Agua Residual Tratada (ART) y contribuir al desarrollo hídrico sostenible.

Aunado a lo anterior, la investigación contribuye a establecer que la implantación de EE en los SAART’s puede constituirse como una herramienta importante en la gestión integral de los recursos hídricos y coadyuvar para el logro de las Metas 6.3 y 6.4, de la reutilización del agua residual, así como la utilización eficiente de los recursos hídricos que integran el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (SDG6), establecido en la resolución A/RES/70/1 de la asamblea general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015), y en atención al Informe Mundial 2017 de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWAP, 2017).

INDICE

1.1 Planteamiento del problema del estudio de caso.....	3
1.2 Hipótesis.....	4
1.3 Objetivos.	4
1.3.1 Objetivo general.	4
1.3.2 Objetivos específicos.	5
1.4 Alcance.	5
1.5 Estructura del documento.	5
2.1 La Sostenibilidad hídrica y los objetivos de desarrollo sostenible.	9
2.2 Concepto de sostenibilidad, sus dimensiones y el desarrollo sostenible.	10
2.3 Los objetivos de desarrollo sostenible.	12
2.4 Las ciudades como tecno-sistemas sostenibles.	15
2.5 Gestión holística integral de la sostenibilidad hídrica.	16
2.6 Importancia del reúso de agua residual tratada.	19
2.6.1 Agua residual como fuente no convencional.....	21
2.6.2 Reúso del Agua Residual Tratada.....	23
2.7 Gobernanza del reúso hídrico.....	28
2.8 Infraestructura para el reúso de agua residual tratada.....	30
2.8.1 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada.	31
2.8.2 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada en México.	32
2.8.3 Calidad requerida del agua residual tratada, para su reúso en México.....	35
2.9 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada en Nuevo León.	36
2.9.1 Calidad y tarifas del agua residual tratada ofrecida en Nuevo León.	38
2.10 Criterios de diseño de sistemas de abastecimiento de agua residual tratada.	41
3.1 Concepto de Ecoeficiencia.	48
3.2 Método para implementar y evaluar la Ecoeficiencia en un SAART.	50
3.4 Indicadores de Ecoeficiencia propuestos.	62
4.1 Análisis hídrico nacional y regional.	67
4.1.1 Región hidrológica No 24 Bravo-Conchos que integra a Santiago, N.L.....	71
4.2.1.1 Disponibilidad de Agua de la cuenca hidrológica San Juan 1 y Acuífero El Huajuco.	76
4.1.1.2 Tratamiento y reúso hídrico en la región hidrológica No. 24, Bravo-Conchos.	80
4.1.1.3. Tratamiento y reúso hídrico en la cuenca del Río San Juan, en Nuevo León.....	81
4.2 Área de estudio Santiago Nuevo León.	82
4.2.1 Clima.	84
4.2.2 Topografía y relieve.	84

4.2.3 Geología.....	85
4.2.4 Edafología.....	85
4.2.5 Vegetación y fauna.....	85
4.2.6 Infraestructura, vivienda y vialidad.....	86
4.3 Descripción Técnica del SAART inicial P´TAR Santiago-Las Misiones.....	88
4.4 Planeación de EE en SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	92
4.5 Evaluación del proyecto de reúso de agua.....	94
4.6. Material y tecnología disponible.....	95
4.7. Determinación de la línea base de Ecoeficiencia.....	99
4.8 Implementación del modelo de Ecoeficiencia en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	101
4.8.1 Acciones de EE implementadas en la Fuente y Tratamiento del SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	102
4.8.2 Acciones de EE implementadas en la extracción y control del transporte del SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	105
4.8.3 Acciones de ecoeficiencia implementadas en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	110
4.8.4 Acciones de ecoeficiencia implementadas para mejorar el beneficio económico en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	117
4.9 Evaluación de resultados del modelo de ecoeficiencia en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.....	119
5.1 Conclusiones.....	122
5.2 Recomendaciones.....	124

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 2

TABLA 2. 1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	13
TABLA 2. 2 OBJETIVO 6 DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SUS METAS.....	14
TABLA 2. 3 PRINCIPIOS SOBRE EL AGUA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	18
TABLA 2. 4 TIPOS DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS.....	24
TABLA 2. 5 CLASIFICACIÓN DE USOS DE AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA EPA.....	25
TABLA 2. 6 NORMATIVA MEXICANA Y REÚSOS RECOMENDADOS DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....	26
TABLA 2.7 PARÁMETROS GENERALES PERMISIBLES EN AGUA RESIDUAL TRATADA.....	35
TABLA 2. 8 DESARROLLO DE PÍTARS EN NUEVO LEÓN DURANTE EL SIGLO XX.....	37
TABLA 2. 9 FUNDAMENTOS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ART EN NUEVO LEÓN.....	39
TABLA 2. 10 REQUISITOS ADMINISTRATIVOS Y TARIFARIOS DEL SERVICIO DE ART EN NUEVO LEÓN.....	39
TABLA 2. 11 ESTÁNDAR DE COLOR PARA IDENTIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA O REGENERADA.....	42
TABLA 2. 12 PROBLEMAS GENÉRICOS DE INFRAESTRUCTURA Y OPERACIÓN EN SAART.....	45

CAPITULO 3

TABLA 3. 1 OBJETIVOS GENERALES DE ECOEFICIENCIA.....	50
TABLA 3. 2 MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE PROYECTOS DE REÚSO HÍDRICO.....	52
TABLA 3. 3 NORMAS ISO 24500 ASOCIADAS A COMPONENTES DE SOSTENIBILIDAD HÍDRICA.....	54
TABLA 3. 4 CICLO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS ECOEFICIENTES.....	56
TABLA 3. 5 LISTAS DE VERIFICACIÓN DE APLICABILIDAD PARA PROYECTOS DE REÚSO HÍDRICO.....	57
TABLA 3. 6 ASPECTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE LA GESTIÓN DEL AGUA.....	58
TABLA 3. 7 PRODUCTIVIDAD DEL RECURSO.....	60
TABLA 3. 8 INTENSIDAD DE USO DEL RECURSO.....	61
TABLA 3. 9 RELACIÓN DE CATEGORÍAS DE LA ECOEFICIENCIA Y SUS ASPECTOS GENERALES.....	62
TABLA 3. 10 SERIE DE INDICADORES RECOMENDADOS POR LA WBSCD.....	63
TABLA 3. 11 INDICADORES DE NORMAS ISO-24500 ASOCIADOS A SOSTENIBILIDAD HÍDRICA.....	64

CAPITULO 4

TABLA 4. 1 PROBLEMAS PRINCIPALES EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO. 24 BRAVO-CONCHOS.....	75
TABLA 4.2 VOLÚMENES DE USO AGRÍCOLA EN LA RHA BRAVO-CONCHOS.....	77
TABLA 4. 3 VOLÚMENES DE USO PÚBLICO URBANO EN LA RHA NÚMERO 24 BRAVO-CONCHOS.....	78
TABLA 4. 4 PÍTARS EN OPERACIÓN DENTRO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO. 24 BRAVO-CONCHOS.....	80
TABLA 4. 5 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE SANTIAGO, NUEVO LEÓN.....	90
TABLA 4. 6 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE ART POR HACIENDA LAS MISIONES.....	91
TABLA 4. 7 CLIENTES Y CONSUMOS DE ART EN SAART 2016.....	118

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

FIGURA 2. 1 CAUDAL TRATADO RESPECTO AL GENERADO 1998-2014 EN MÉXICO.	32
FIGURA 2. 2 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA EN NUEVO LEÓN.	38
FIGURA 2. 3 VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA E INGRESOS 2002-2015.	40
FIGURA 2. 4 ESQUEMA BÁSICO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....	44
FIGURA 2. 5 PROCESOS DE RECRECIMIENTO DE PATÓGENOS Y VÍAS DE EXPOSICIÓN EN UN SAART.	46

CAPITULO 3

FIGURA 3.1 CICLO DE DEMING PHVA.....	55
FIGURA 3. 2 FÓRMULA DE ECOEFICIENCIA DEL PRODUCTO O SERVICIO.	60

CAPITULO 4

FIGURA 4. 1 PORCENTAJE DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA OCDE.	68
FIGURA 4. 2 BALANCE HÍDRICO EN MÉXICO.....	69
FIGURA 4. 3 PRESIÓN HÍDRICA Y AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN MÉXICO 2015.....	70
FIGURA 4. 4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR ENTIDAD EN MÉXICO.	71
FIGURA 4.5 REGIONES HIDROLÓGICAS EN MÉXICO.	72
FIGURA 4. 6 REGIONES HIDROLÓGICAS EN NUEVO LEÓN.	73
FIGURA 4.7 DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO BRAVO EN EL TRATADO DE 1944	74
FIGURA 4. 8 LOCALIZACIÓN DE ACUÍFERO 1911 CAÑÓN DEL HUAJUCO Y P'TAR SANTIAGO.	79
FIGURA 4. 9 LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO, NUEVO LEÓN.	83
FIGURA 4. 10 MUNICIPIOS DE LA ZONA CONURBADA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY.....	87
FIGURA 4.11 LOCALIZACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO EN SANTIAGO, NUEVO LEÓN.....	89
FIGURA 4.12 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE P'TAR SISTELEON-HACIENDA LAS MISIONES.	89
FIGURA 4. 13 P'TAR TIPO LAGUNAS AIREADAS SISTELEON-HACIENDA LAS MISIONES.....	92
FIGURA 4. 14 ESQUEMA DE SISTEMA DUAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ART DE SANTIAGO, N.L.....	93
FIGURA 4. 15 VOLÚMENES DE SAART P'TAR SANTIAGO-LAS MISIONES 2003-2007.	94
FIGURA 4. 16 RESULTADO DE ESTUDIO A.R.I. PLAN SOBRE EL PERFIL HIDRÁULICO DEL SAART.....	96
FIGURA 4. 17 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE VAEA ESPECIALIZADA AR.....	97
FIGURA 4. 18 ESQUEMA DE TELEMETRÍA PARA EL SAART P'TAR SANTIAGO-C. HUAJUCO.	98
FIGURA 4. 19 MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO ELECTRÓNICO.	99
FIGURA 4. 20 PRESENCIA DE SÓLIDOS Y LODOS EN CÁMARA DE CONTACTO DE CLORO EN P'TAR SANTIAGO.	103
FIGURA 4. 21 CÁMARA DE CONTACTO DE DESINFECCIÓN INICIAL EN P'TAR SANTIAGO.	103
FIGURA 4. 22 TRABAJOS PARA REUTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EN P'TAR SANTIAGO.....	104
FIGURA 4. 23 SISTEMA DE DESINFECCIÓN MEDIANTE CLORO GAS EN P'TAR SANTIAGO.....	105
FIGURA 4. 24 CEDAZO DE BOMBA DAÑADA POR ATASCAMIENTO EN P'TAR SANTIAGO.....	106
FIGURA 4. 25 CENTRO DE CONTROL Y MOTORES DE CÁRCAMO INICIAL EN P'TAR SANTIAGO.....	106
FIGURA 4. 26 CONJUNTO DE CENTRO DE CONTROL ELECTROMOTRIZ Y PROTECCIÓN EN CÁRCAMO DE P'TAR.	107
FIGURA 4. 27 CÁRCAMO LA CHUECA (ASTURIAS) CONSTRUIDO EN SAART.	108
FIGURA 4. 28 CÁRCAMO EL FAISÁN REHABILITADO.	108
FIGURA 4. 29 CÁRCAMO HUAJUCO, ENLACE ENTRE P'TAR SANTIAGO Y P'TAR SAN RAFAEL.	109
FIGURA 4. 30 SISTEMA DE TELEMETRÍA Y AUTOMATIZACIÓN PARA SAART P'TAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO.....	110
FIGURA 4.31 VÁLVULAS INADECUADAS DE ADMISIÓN-EXPULSIÓN DE AIRE EN SAART.	111
FIGURA 4. 32 TUBERÍAS DE AGUA POTABLE Y AGUA RESIDUAL TRATADA NO IDENTIFICADAS.....	111
FIGURA 4. 33 CONEXIÓN SOBREDIMENSIONADA Y EQUIPAMIENTO INADECUADO EN SAART.....	112
FIGURA 4. 34 MEDIDOR SOBREDIMENSIONADO Y OBSTRUIDO EN SAART.	112
FIGURA 4. 35 AMPLIACIÓN DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN DEL SAART P'TAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO.....	113
FIGURA 4. 36 EJEMPLO DE EQUIPAMIENTO CON VAEAS ESPECIALIZADAS SAART P'TAR- SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO.	114
FIGURA 4. 37 PINTURA Y SEÑALIZACIÓN DE TRAZO DE SAART P'TAR SANTIAGO-CÁRCAMO HUAJUCO.	114
FIGURA 4. 38 EQUIPAMIENTO DE TOMA DOMICILIARIA EN EL SAART.....	115
FIGURA 4. 39 MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS EN EL SAART.....	116

FIGURA 4. 40 DESAGÜES ESTANDARIZADOS EN SAART. 116
FIGURA 4. 41 MODELO DE PROCESOS DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN SADM. 118
FIGURA 4. 42 ESQUEMA DE SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA DE SANTIAGO, N.L. 121

GLOSARIO

Acrónimos (inglés y español).	
AC-ZMM	Área Conurbada de la Zona Metropolitana de Monterrey
ART	Agua Residual Tratada equivalente a Agua Regenerada
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
DOF	Diario Oficial de la Federación
EE	Ecoeficiencia
ISO	Organización Internacional de Estandarización
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología de Agua
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental
Mm ³	Millón de metros cúbicos. Equivale a hectómetro cúbico (hm ³)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
P'tar	Planta de Tratamiento de Agua Residual
SADM	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
SAART	Sistema de Abastecimiento de Agua Residual Tratada
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SDG	Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU
TNC	The Nature Conservancy
WBSCD	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Del período para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, trazados en los 80's, que fueron guía durante décadas para las naciones en sus programas y planes de crecimiento; la Organización de las Naciones Unidas evaluó los resultados y emitió, mediante la Resolución A/RES/70/1 del 25 de septiembre de 2015, la *Agenda 2030* para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 objetivos nuevos y 169 metas.

El sexto objetivo es: “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” (ONU, 2015, p.21). Para su cumplimiento las áreas de conocimiento de la ingeniería civil y ambiental se consolidan como la base y, las principales fuentes para la generación de soluciones de los problemas presentes en el sector hídrico local, nacional e internacional. En las proyecciones se indica que la crisis del agua será el riesgo mundial más preocupante para las personas y las economías en los próximos diez años (WEF, 2016), ante las condiciones de escasez mundial de los recursos hídricos disponibles y su calidad (UNEP, 2016), principalmente en los ecosistemas donde se encuentran inmersos simbióticamente los tecno-sistemas (ciudades), creados por el hombre para su subsistencia y desarrollo.

Las acciones requeridas para la optimización del uso del agua y la gestión sostenible se tornan cada vez más especializadas, pero la utilización del agua residual y el reúso de los efluentes tratados, conocidos actualmente como “ART o Aguas Regeneradas”, sigue sin ser una práctica común dentro de la gestión integral del agua o ciclo urbano del agua, a pesar de ser sometidas a un proceso de tratamiento donde obtienen una calidad satisfactoria para ciertos usos particulares (Seguí-Amortegui, 2004).

El tratamiento y el reúso del agua residual se señala como necesario, a fin de evitar un incremento en el deterioro ambiental, en la calidad de vida de la población y en la economía, clasificándose éstas en 2017 como un “Recurso desaprovechado” en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. (WWAP, 2017). Existe la necesidad mundial de implementar acciones para su adaptación mediante procesos productivos y de servicio EE, en países y organismos operadores de agua y

saneamiento, ya sean gubernamentales, privados o mixtos. Esta práctica conlleva la reducción de la contaminación y que, mediante el tratamiento, se incremente la disponibilidad de agua, reduciendo la explotación de las fuentes naturales, para de esta manera alcanzar las metas trazadas y, con ello, los objetivos para el logro del desarrollo hídrico sostenible. (WWAP, 2017).

Es necesario comprender que los recursos hídricos forman parte del sistema ambiental que tiene características ecológicas complejas y en el que confluyen múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada (García, 2011). *“Un sistema de gestión del agua con enfoque de sostenibilidad debe preservar el entorno, y a la vez, proveer agua al sistema urbano”* (Rueda, 1999, p.23). Si el sistema se desarrolla con la finalidad de disminuir la presión sobre los ecosistemas que también demandan agua, a través de la reducción de la extracción de fuentes naturales y de disminuir la carga contaminante vertida en la cuenca

El “Reúso de Agua Residual” no es un concepto nuevo; existen evidencias de que se utilizaron para el riego por civilizaciones prehistóricas; por ejemplo, Mesopotamia, Valle del Indo, y Minoan, desde la Edad de Bronce, aproximadamente 3,200-1,100 A.C. (Tzanakakis, V.E.; Paranychianakis, N.V.; Angelakis, A.N., 2007).

En la actualidad se adopta como “el aprovechamiento del agua previamente utilizada, una o más veces en alguna actividad”, para suplir las necesidades de otros usos. Se considera como “Reúso Directo Planeado” cuando los efluentes, después de ser debidamente tratados, son enviados directamente desde su punto de descarga hasta el lugar del reúso (Lavrador, 1987), acción que cumple un SAART que puede estar integrado por los mismos componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable (DEF, 2007); donde la “fuente” es la Planta de Tratamiento de Agua Residual (P’tar).

El reúso o reutilización de los efluentes tratados puede clasificarse, según su destino, en:

- Reúso Directo: que es el uso o aprovechamiento de agua residual tratada en actividades agrícolas, urbanas e industriales, antes de su descarga en un cuerpo de agua.
- Reúso Indirecto: que es la explotación, uso o aprovechamiento de agua residual tratada de un cuerpo receptor, después del punto de descarga.
- Intercambio: que es la explotación, uso o aprovechamiento de agua residual tratada como fuente de suministro en actividades, donde el usuario deja de emplear el agua de primer uso (CONAGUA, 2016).

Para efectuar el “Reúso Directo Planeado y el Intercambio” a través de un SAART, es necesario que la “fuente” suministre una cantidad y calidad de ART que cumpla los requisitos que le son inherentes a la aplicación o destino de la misma. Por ello, el proceso de depuración del agua residual en las P’tar debe comprender varias fases, tales como: a) Pretratamiento mediante desbaste. b) Tratamiento Primario por sedimentación de los

materiales suspendidos mediante tratamientos físicos o físico-químicos. c) Tratamiento Secundario en tanques donde actúan bacterias descomponedoras y d) Tratamiento Terciario como: Filtración, adsorción, adición de cloro, tratamiento ultravioleta u otros métodos complejos y costosos que actualmente existen o están en desarrollo, aunado al tratamiento de lodos, que son un subproducto que debe ser tratado (Metcalf & Eddy, 1996).

El “Reúso” del ART” debe poseer la calidad de agua requerida con base en el destino de reutilización o vertido final, que permitan cumplir los requisitos normativos de sus características físico, químicas y bacteriológicas, que difieren en gran medida de país a país, e incluso dentro de un mismo país (EPA, 2012).

El diseño e implementación de grandes sistemas de abastecimiento de ART es una realidad en Europa, Medio Oriente, los Estados Unidos de América, incluso en Asia, en donde se destinan grandes recursos económicos en su operación y mantenimiento (MAPAMA, 2010; Fernández, 2016).

Derivado del estudio del Sistema Conceptual Común para la Pobreza y Desarrollo Sostenible en América Latina, Sejenovich (2015a), se encontró como área de oportunidad la implementación de herramientas metodológicas aplicables a un SAART que coadyuven al desarrollo hídrico sostenible y de métodos para cuantificar y evaluar los componentes económico, social y ambiental en el mismo, similares a las que se aplican en los de abastecimiento de agua potable y saneamiento.

La EE está estrechamente ligada al desarrollo sostenible ya que equivale a optimizar tres objetivos: *crecimiento económico, equidad social y valor ecológico*. Es el principal medio a través del cual las empresas contribuyen al desarrollo sostenible y al mismo tiempo consiguen incrementar su competitividad (FFA, 2000).

1.1 Planteamiento del problema del estudio de caso.

El Municipio de Santiago, del Estado de Nuevo León, en México forma parte de la Zona Conurbada del Área Metropolitana de Monterrey (NADBANK, 2014); sin embargo, su gestión hídrica puede ser considerada como no sostenible, a pesar de encontrarse inmerso en una zona identificada como de gran cantidad de recursos hídricos, al mantenerse un déficit en la disponibilidad de del agua superficial de 81.997 Millones de metros cúbicos (Mm³) en la cuenca hidrológica “Río San Juan 1” (DOF, 2016) y de 1.755 Millones de metros cúbicos (Mm³) en el acuífero Cañón del Huajuco (DOF, 2015).

En el ámbito hídrico, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD) considera que la continua presión del crecimiento económico y demográfico

sobre la disponibilidad de agua potable es cada vez más grave, por lo que recomienda enfocarse y adoptar la EE como herramienta para coadyuvar en la solución de dicho desafío (WBSCD, 2006), ya que tiene un papel central en la promoción y contribución básica al desarrollo sostenible (Holliday, C.O., Schmidheiny, S. & Watts, P., 2002).

El reúso de los efluentes tratados por la única Planta de Tratamiento de Agua Residual municipal existente, denominada *P'tar Santiago*, inició en 1990. Sin embargo, a pesar de que la capacidad de tratamiento es de 200 litros por segundo, el SAART *P'tar Santiago-Las Misiones* ya existente, suministró solamente el 11.79% del volumen tratado para su reúso directo planeado durante el período de enero de 2003 a Junio de 2007 (SADM, 2017), por lo que el resto del ART fue vertida en la cuenca hidrológica número 33, denominada Río San Juan 1 (DOF, 2011).

Los SAART son una realidad en México desde hace décadas y son infraestructuras urbanas que permiten la gestión integrada del recurso agua en su ciclo y se constituyen en una de las herramientas más importantes para desarrollar proyectos de EE reconocidas como tal en el Fórum Ambiental (Leal, 2005).

Mejorar la eficiencia en el uso del agua es absolutamente necesario para hacer frente a la brecha proyectada por la CONAGUA, que se estima alcanzará un 40% entre la demanda y la oferta generando escasez de agua para el año 2030 (PNUMA, 2011); es importante y necesario implementar acciones que permitan privilegiar el agua de primer uso para la población mediante el aprovechamiento de los volúmenes de ART, lo que sin duda contribuirá en el desarrollo hídrico sostenible de la región.

1.2 Hipótesis.

Los modelos de Ecoeficiencia y de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, aplicados al Sistema de Abastecimiento de Agua Residual Tratada pueden optimizar el Reúso Hídrico Sostenible y servir como herramienta en la Gestión hídrica sostenible.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Utilizar la Ecoeficiencia en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Residual Tratada adaptando el método del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), en el SAART Santiago-Cárcamo Huajuco, como herramienta de la Gestión Hídrica Sostenible.

1.3.2 Objetivos específicos.

Los objetivos específicos de la presente tesis son:

- a. Investigar y documentar los antecedentes en materia de reúso de agua residual doméstica de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Residual Tratada en la zona de estudio.
- b. Identificar, documentar y evaluar métodos operativos de la Ecoeficiencia para obtener indicadores que permitan evaluar el grado de contribución de la Ecoeficiencia en la Gestión Hídrica Sostenible.
- c. Determinar la reducción en el consumo de recursos hídricos de primer uso en la región, que se extraen a través del Sistema Santiago-Monterrey, de la Cuenca Hidrológica No. 33 San Juan 1 (DOF, 2016) y del Acuífero Huajuco 1911, (DOF, 2015).
- d. Reducir el impacto ambiental aguas abajo del inicio del cauce del Río San Juan, que se clasifica actualmente como poco contaminado, para restablecer el equilibrio ecológico e hidrológico en la región, ante el deterioro de la calidad del agua.
- e. Incrementar el valor del uso del agua residual, por medio de la implementación y operación del SAART a los usuarios.

1.4 Alcance.

El presente estudio se centra en la infraestructura urbana para el Reúso Hídrico (RH) del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, en el Municipio de Santiago, Nuevo León, a cargo del organismo operador denominado Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, que es una Institución Pública Descentralizada del Gobierno del Estado de Nuevo León en México.

Con la información recabada se analizarán las acciones a realizar y se propondrán mejoras al SAART, sobre la base de los lineamientos de EE y de sostenibilidad de recursos hídricos.

1.5 Estructura del documento.

La presente tesis propondrá la implementación de acciones en un SAART existente, que permitan incrementar el reúso, fomentar la utilización eficiente de los recursos hídricos y la mejora de la infraestructura y los procesos en forma sistémica. Se utilizarán métodos que permitan su evaluación mediante indicadores, bajo criterios internacionales, en los rubros económico, social y ambiental, que contribuyan al desarrollo hídrico sostenible.

De esta forma, la presente tesis expone la utilización de la EE como herramienta metodológica para coadyuvar a lograr el desarrollo hídrico sostenible. El proyecto requiere el desarrollo y uso de métodos aplicables, nuevas herramientas, mejoras en la infraestructura existente y actualización tecnológica, para incrementar la disponibilidad de agua, mejorar la calidad en el servicio, optimizar la infraestructura disponible, reducir la contaminación y hacer más eficiente el uso del recurso hídrico.

El presente documento se integra de los capítulos conformados por: 1. Introducción, 2. Un análisis sobre la sostenibilidad hídrica y la situación actual del agua residual como un recurso no aprovechado y el reúso del mismo; 3. Un análisis sobre la “Ecoeficiencia” y los principales métodos para su planificación, implementación y evaluación adaptada a un SAART existente; 4. La implantación del método a un caso de estudio específico y sus resultados; y finalmente, 5. Las recomendaciones, factores limitantes y principales conclusiones de la investigación efectuada.

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico general de la revisión bibliográfica sobre los conceptos fundamentales de sostenibilidad, tecno sistemas y su sostenibilidad, sostenibilidad hídrica y los objetivos de desarrollo sostenible, vinculados con el sector hídrico, así como antecedentes generales sobre el reúso del agua residual, como parte importante de la gestión integral del agua. También se hace una descripción de la situación hídrica actual en el ámbito internacional, nacional y local, sobre el reúso directo planeado de efluentes domésticos tratados y el aprovechamiento del agua residual.

El capítulo 3 aborda los antecedentes de la Ecoeficiencia como herramienta para el desarrollo sostenible y la revisión de diferentes métodos y la adaptación para su implementación y evaluación en un SAART o regenerada, desde su conceptualización básica y aplicación práctica mediante mejoras en la infraestructura, hasta la posible aplicación de normas internacionales y sistemas de gestión.

Del análisis del capítulo 3 se concluye que; si bien, existen métodos y normas especializadas para la implementación de modelos y sistemas complejos de gestión ambiental y de Ecoeficiencia, así como para su evaluación como lo es Norma ISO 14045:2012; la aplicación de los preceptos originales del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD, 2000a) como método para la Ecoeficiencia, así como las normas internacionales especializadas para la evaluación, económica, ambiental y social de los Organismos operadores de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento generadas por el Comité ISO/TC224 bajo la serie 24500, son suficientemente aceptables para utilizar la EE en los Sistemas de Abastecimiento de ART y evaluar los componentes de sostenibilidad y, con ello, determinar si su uso como herramienta contribuye al desarrollo hídrico sostenible.

El capítulo 4 integra la implementación de los preceptos aplicables de la Ecoeficiencia como herramienta para el desarrollo hídrico sostenible en un caso de estudio en México, utilizando los métodos adaptados propuestos en el (SAART) existente P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, ubicado en el Municipio de Santiago del Estado de Nuevo León, con el objetivo de mejorar las condiciones de operación de la infraestructura existente para el aprovechamiento del agua residual mediante el reúso directo planeado del efluente tratado de la planta de tratamiento de agua residual (P'tar) Santiago; iniciando con el análisis de factibilidad de implementación, la realización de acciones de equipamiento, mejoras tecnológicas, incremento de usos y ampliación de cobertura, concluyendo con la evaluación de los ámbitos ambiental, económica y social del SAART.

De este caso de estudio se concluye que del uso de la Ecoeficiencia como herramienta a través de un SAART resulta una rentabilidad *económica*, a partir de la reutilización del ART mediante el reúso directo planeado, al ser ampliamente rentable su venta, a pesar de tener un precio menor que el del agua potable, respecto a la reutilización indirecta no planeada efectuada mediante la extracción y el tratamiento aguas abajo del punto de vertido del efluente tratado en el río. Así mismo, representó un incremento en la recuperación de costes de tratamiento de la P'tar Santiago; entre otros aspectos económicos evaluados mediante indicadores establecidos con base en el método adaptado.

Así mismo, representó el incremento de un 100% de la línea de conducción y su cobertura en la zona sur en crecimiento del Municipio de Monterrey, lo que representa una oportunidad para el *desarrollo social* en la zona, al acceder a agua de casi la mitad de precio que la potable, apta para usos comerciales, de riego e industriales, que incrementó de 1 único usuario a 6 usuarios, y con un gran potencial de crecimiento derivado del caudal disponible para incremento de reúso directo planeado de 100 lps.

Aunado a lo anterior, representó un beneficio en el desarrollo ambiental de la zona, ante el incremento en casi un 20% de la disponibilidad de agua de primer uso de una de las fuentes principales de agua de primer uso del municipio de Santiago, cuyo caudal de extracción es sustituido por el suministro de agua de reúso directo planeado, suministrado ahora en la zona de cobertura a centros comerciales, sistemas contra incendios y campos de golf. Finalmente, se presentan las conclusiones particulares y generales de la presente tesis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Se debe tener un enfoque holístico para que la población futura goce de un nivel de vida aceptable, en armonía con la naturaleza y los recursos que el planeta ofrece y que la Organización de las Naciones Unidas en la Agenda 2030 plasmó en sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015a), así como por las principales corporaciones privadas que encabeza el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible mediante la Nueva Agenda para los negocios, Visión 2050 (WBCSD, 2010).

En el nivel mundial, los suministros convencionales de agua se ven severamente afectados ante una disponibilidad cada vez más limitada del recurso hídrico de primer uso y el deterioro de su calidad en la fútil búsqueda de satisfacer una demanda social y económica inmoderada, mediante infraestructuras poco eficientes y sin atender el enfoque de que *“ninguna agua de calidad superior, a menos que exista un excedente, debe utilizarse para un propósito que pueda tolerar un grado inferior”*, expresado en 1958, durante el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (AWWA, 2009).

Esta situación ha despertado la necesidad imperante de encontrar nuevas fuentes de suministro, a través de una gestión holística e integral del recurso hídricos para suplir las necesidades de la población, para soportar el crecimiento económico y para disminuir el daño ambiental. En este escenario, el agua residual adquiere una renovada potencialidad como alternativa para su reúso rentable y seguro, y que sea considerada como un Recurso Aprovechable que permita un desarrollo hídrico sostenible, conforme al Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. (WWAP, 2017).

La relevancia de este tema se manifestó en 2012, en el apartado de Agua y Saneamiento de la resolución: *El Futuro que queremos*, (A/RES/66/288), aprobada en la asamblea de la Organización de las Naciones Unidas, mediante el cual se reconoce a el agua como un elemento básico del desarrollo sostenible; subrayando la necesidad de adoptar medidas para hacer frente a su escasez, incluidos, según proceda, *los recursos hídricos no convencionales*, y la necesidad de movilizar recursos financieros e infraestructura para los servicios de abastecimiento de agua (ONU, 2012).

En 2010 se determinó el enfoque del sector hídrico, que todos los países deben promover modalidades sostenibles de consumo y producción (ONU, 2010). El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2010), como en la Cumbre de Río, se adelantó a los gobiernos mundiales y estableció el documento: *Visión 2050; Nueva Agenda para los Negocios*, que, centrada en la sostenibilidad y una proyección de 9.000 millones de habitantes, establece una Hoja de Ruta, donde el agua residual municipal es considerada como un recurso que permite el incremento del reúso de agua reciclada o residual tratada.

Los gobiernos, la sociedad y el sector privado deben modificar las modalidades insostenibles en el consumo de los recursos hídricos (ONU, 2010). El riesgo de escasez de agua podría frenar el logro de ambas agendas, e incluso generar reacciones agresivas por dichos recursos, ya que el potencial económico del sector Agua se estima entre 1 y 3 billones de dólares anuales a 2050, el 0,1% del P.I.B mundial estimado y será uno de los negocios predominantes con una inversión en infraestructuras a 2030, de más de 25 billones de dólares (WBCSD, 2010).

2.1 La Sostenibilidad hídrica y los objetivos de desarrollo sostenible.

El principal riesgo mundial, en términos de impacto durante el año 2015 fue la disminución significativa en la cantidad y la calidad del agua dulce disponible, clasificándose por encima de las armas de destrucción masiva, y manteniéndose en tercer sitio en forma consecutiva durante los años 2016 y 2017 (FEM, 2017), es por ello que la búsqueda de la sostenibilidad hídrica y su desarrollo es imprescindible. En el nivel mundial, la agricultura es responsable del 70% del consumo de agua dulce, frente al 17% de la industria y el 13% de las necesidades domésticas y municipales (WBCSD, 2010).

Si se adopta un enfoque orientado al suministro, se necesitará una inversión de hasta 200,000 millones de dólares (USD) de 2010 a 2030; sin embargo, el costo de las medidas enfocadas en la demanda requiere una inversión de entre 50,000 y 60,000 millones de

dólares americanos, donde se propone implementar medidas que permitan mejorar la eficiencia, la conservación y el reúso del agua, reduciéndose su consumo absoluto (McKinsey, 2009).

La gestión de los recursos hídricos constituye un sistema de soporte vital, por lo que si su calidad y cantidad son insuficientes, o no asequibles legal y económicamente, afecta a la sociedad y su entorno general; por ello se requiere una organización holística e integral para su gestión sostenible (Dourojeanni, 2011).

La sostenibilidad hídrica se considera como la distribución equitativa del agua entre las especies animales y vegetales, considerando sus necesidades y en el caso de los humanos, sus expectativas de crecimiento sin comprometer las capacidades de las generaciones de especies futuras, para satisfacer sus necesidades (García, 2012).

Esta *“sostenibilidad se ha agravado en el mundo desde hace más de 40 años ante una migración creciente del campo a las ciudades”*, propiciando un incremento del 47 por ciento de la población concentrada en los tecno-sistemas urbanos (Díaz, 2007, p.340).

“Para 2030 se espera que el 61 por ciento (5 mil millones) de un total de aproximadamente 8,100 millones de personas habitará las zonas urbanas” (Breña, 2007, p.70), sin embargo, en México desde el 2010, casi el 78% de su población ya reside en los centros urbanos (INEGI, 2010).

Para el logro de la sostenibilidad hídrica, es necesario romper paradigmas y brindar la misma prioridad a las fuentes no convencionales y a los sistemas de RH que a las fuentes y sistemas convencionales de uso hídrico lineal, al implementar herramientas de eficiencia técnico-económica y ambiental, aplicadas a los marcos normativos, planeación y operación de su infraestructura (Daly, 1990).

2.2 Concepto de sostenibilidad, sus dimensiones y el desarrollo sostenible.

La Teoría General de los Sistemas propuesta por Von Bertalanffy (1976), indica que sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o fuerzas reinantes entre ellos, les pueden ser formulados principios válidos en general, siendo uno de ellos, el *principio de la sostenibilidad*.

Lawrence (1997) conceptualiza a la sostenibilidad como la satisfacción de las necesidades (ecológicas, sociales y económicas) y de las aspiraciones de la especie humana (y de otras especies), lo cual implica para Gasson (2002), conservar, restaurar, mejorar y utilizar de manera responsable los sistemas ecológicos que soportan la vida, como son el suelo, el agua, el clima, y la biota.

Segschneider (2001) refiere que puede entenderse como un sistema de organización que usa el mínimo de los recursos disponibles para un mayor beneficio y no sobrecarga la capacidad del ambiente para limpiar y renovarse a sí mismo; por lo que es de suma importancia para las sociedades, que desde el ámbito de las ciencias ambientales y de la ingeniería, se implemente la infraestructura urbana enfocada al mantenimiento de los sistemas de soporte vitales, como el agua (Holdren, J., Gretchen, C., Herlich, P., 1995; Sutton, 2000).

Hoy en día, la sostenibilidad está orientada al establecimiento de sistemas funcionales para el equilibrio y la preservación de los aspectos sociales, económicos y ambientales dentro de un mismo sistema; en este caso, aplicable a la gestión hídrica, donde Nieto (1999) recomendó buscar la compatibilidad de la protección ambiental y la producción, de allí que tiene tres componentes o dimensiones: el ambiental, el socioeconómico y el político.

1. **La dimensión económica** se basa en el concepto de “lucro”, donde se considera que una inversión consigue lucro económico cuando el retorno invertido es más que suficiente para pagar el costo del capital de terceros y el capital propio; que para Cotes y Cotes (2005, p. 2820) la sustentabilidad económica “se alcanzará a través de un crecimiento sostenido y de la eficiencia en el uso del capital y de los recursos”.
2. **La dimensión ambiental** conceptualiza la suma de todos los procesos bio-geológicos y sus elementos, llamado *capital ambiental* por los economistas (Spangenberg, Pfahl y Deller, 2002), donde “La utilización de los recursos debe ser eficaz y correcta con respecto a las necesidades humanas” (Robert, 2002, p.39). La sostenibilidad ambiental se alcanzará “reduciendo la degradación ambiental, que puede consistir tanto en la sobreexplotación de los recursos naturales como en el aumento de la contaminación” (Cotes y Cotes, 2005, p. 2820).
3. **La dimensión de sostenibilidad social** contempla a los seres humanos, sus habilidades, dedicación, experiencias y el comportamiento resultante como *capital humano* (Spangenberg, Pfahl y Deller, 2002). La sostenibilidad social se alcanzará “a través del logro de una mayor equidad, de la preservación de la diversidad cultural y de la mayor utilización de prácticas sostenibles en culturas menos dominantes” (Cotes y Cotes, 2005, p. 2820).

Sunkel y Paz, (1986) y Prats (1999) refieren que el concepto de *Desarrollo* inicialmente se incluyó en negociaciones de tratados internacionales por la paz, como la Declaración Inter-Aliada de 1941 y en la Carta del Atlántico del mismo año y en la Conferencia de San Francisco en 1945, que dio origen a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), con un enfoque de crecimiento y modernidad.

En 1983 la Asamblea General de las Naciones Unidas creó la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, cuyos trabajos, de 1984 a 1987, bajo la presidencia de Gro Harlem Brundtland derivaron en el documento conocido como *Nuestro Futuro Común* y la conceptualización “*Desarrollo Sostenible como aquel que satisface las necesidades*

esenciales de la generación presente, sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras” (WCED, 1987, p.43).

En junio de 1992, durante la “Cumbre de la Tierra”, realizada en Río de Janeiro, se ratificó el Informe Brundtland (WCED, 1987), y se aprobó el documento llamado Agenda 21 para el logro del Desarrollo Sostenible, en el que distintos países se comprometieron a efectuar medidas que incluían medir a través de indicadores, el estado y el avance de los países.

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de México establece en el título XI que el desarrollo sostenible es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas; se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, la protección del ambiente y del aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (SEMARNAT, 2014).

2.3 Los objetivos de desarrollo sostenible.

Se puede considerar que el Informe de “Límites de Crecimiento” presentado por el Club de Roma, que se basa en principios de la tesis de límites físicos del año de 1972 (CR, 2009), que menciona que la tierra tiene recursos finitos. Dicho informe repercute aún en la conciencia actual de los problemas ambientales, al considerar que si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales, como el agua, se mantienen sin variación, alcanzará los límites absolutos de crecimiento en la Tierra durante los próximos cien años (Donella H., Dennis L., Jorgen R., William W., 1972).

La Conferencia Mundial sobre el Medio Humano de la Organización de las Naciones Unidas, en Estocolmo, Suecia, durante 1972, del que derivó La Resolución denominada: *Solo Una Tierra: El cuidado y mantenimiento de una pequeño planeta*, marcó el inicio del planteamiento del problema ambiental por primera vez dentro del área política internacional, tratando de hacer posible el crecimiento económico tradicional, junto con la protección a la naturaleza dentro de una planeación integrada, que dio origen al (PNUMA) Programa para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2012).

La aplicación del desarrollo sostenible ha requerido métodos de evaluación y seguimiento que han ido evolucionando a través de resoluciones de la Organización de las Naciones Unidas, tales como la Agenda 21 de la Conferencia de Río de 1992, que condujo al establecimiento de *los Ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio*, mediante la resolución A/RES/55/2, entre los cuales el “*Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio*

ambiente que incluía la meta 7 C: *Reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento* (ONU,2000a).

De esta forma, el 25 de septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas emitió la resolución A/RES/70/1 (ONU, 2015a), denominada: *“Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”*, en la que establece los *Diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible* y 169 metas en una nueva Agenda Universal (ver Tabla 2.1).

Tabla 2. 1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Objetivo 1.	<i>Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo.</i>
Objetivo 2.	<i>Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.</i>
Objetivo 3.	<i>Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades.</i>
Objetivo 4.	<i>Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.</i>
Objetivo 5.	<i>Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas.</i>
Objetivo 6.	<i>Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.</i>
Objetivo 7.	<i>Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</i>
Objetivo 8.	<i>Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente.</i>
Objetivo 9.	<i>Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.</i>
Objetivo 10.	<i>Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.</i>
Objetivo 11.	<i>Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.</i>
Objetivo 12.	<i>Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.</i>
Objetivo 13.	<i>Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.</i>
Objetivo 14.	<i>Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.</i>
Objetivo 15.	<i>Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.</i>

Objetivo 16.	<i>Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas.</i>
Objetivo 17.	<i>Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.</i>

Elaboración propia a partir de la resolución A/RES/70/1 denominada: “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” (ONU, 2015).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 y sus metas, que se muestra en la Tabla 2.2, brinda continuidad y legitimidad a la importancia que el sector hídrico y su gestión eficiente ha tomado en la última década, ya que por primera vez se vincula específicamente su gestión integral y sostenible en el nivel mundial, que incluye al reúso o reutilización segura del agua como parte importante de ella. Finalmente, la Organización de las Naciones Unidas señaló que una de las principales prioridades de la región de América Latina y el Caribe es crear la capacidad institucional formal para la gestión hídrica sostenible integral, con un desarrollo socioeconómico y la reducción de la pobreza. (WWAP, 2015) para el logro de su Visión 2050.

Tabla 2. 2 Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible y sus Metas.

OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	METAS PARA ALCANZAR EL OBJETIVO
<i>Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.</i> <i>6.a De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de</i>	<i>6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.</i>
	<i>6.2 De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.</i>
	<i>6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.</i>
	<i>6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.</i>

<i>reutilización.</i> 6. b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.	6.5 De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
	6.6 De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

Elaboración propia a partir de la resolución A/RES/70/1 denominada: “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” (ONU, 2015).

2.4 Las ciudades como tecno-sistemas sostenibles.

Desde sus orígenes, la humanidad ha abandonado su individualidad para subsistir formando sociedades, siendo *la ciudad* el mayor hecho cultural e integrador del pasado, el presente y el futuro, que con el objetivo de hacerla sostenible y prepararla para el futuro, se han diseñado y desarrollado soluciones a las necesidades colectivas mediante las interacciones sociales, ambientales y económicas (Arízaga, Herzer, Passalacqua, Balbo, Jordán, Simioni, 2003).

Las Ciudad es considerada como un Tecno-sistema construido por el hombre en su relación con la naturaleza, Sejenovich (2015b); cuando la sociedad fue seleccionando recursos de la naturaleza, como el agua, que le servirían para satisfacer sus necesidades, y mediante un proceso de progresiva artificialización de la misma naturaleza, transformó los ecosistemas en tecno-sistemas específicos, que pueden comprenderse como un enfoque articulado, económico, ecológico y social.

Derivado del estudio del Sistema Conceptual Común para la Pobreza y Desarrollo Sostenible en América Latina (Sejenovich, 2015a) y partiendo de la base de que toda actividad productiva expresa una relación e interacción sociedad-naturaleza, el objetivo debe tender a maximizar la producción y el aprovechamiento y, a la vez, minimizar la degradación y la contaminación, utilizando potencialidades y aceptando las restricciones del entorno, para elevar la calidad de vida de los habitantes.

Los sistemas de infraestructura urbana son esenciales para el desarrollo económico y social de las ciudades, así como para facilitar el acceso a bienes y servicios, que pueden ser intensivos en el empleo de recursos. De este modo se determinarán la competitividad, la calidad de vida y su sostenibilidad (Cerdeña, Celedón, Vega-López, 2011).

La infraestructura urbana sostenible debe ser planeada, construida y operada conforme a procesos congruentes con la sostenibilidad de los sistemas de soporte, a los que la Encyclopedia of Life Support Systems (ELSS, 2017) señala como “*cualquier sistema natural o creado por el Hombre que fomenta la biosfera de forma sostenible*”, como lo es la

infraestructura para el logro de la sostenibilidad hídrica a través de su gestión holística integral.

Dentro de los proyectos Eco-Water de la Unión Europea, (Dimova, Hugi, Niewersch, Ribarova, Stanchev, Steiger, 2012) consideran que los sistemas de agua urbanos tienen un impacto ambiental directo en:

1. Agua (cantidad de agua extraída, calidad del agua residual descargadas, agua residual exfiltrada de tuberías de alcantarillado que no funcionan correctamente, agua subterránea contaminada por infiltración en las tuberías de alcantarillado). La variación de la calidad del agua y la cantidad de agua a lo largo de la cadena de suministro.
2. Suelo (suelo utilizado para la construcción de las instalaciones necesarias, tales como estructuras de toma de agua, estación de bombeo, estación de tratamiento de agua, tanques y embalses, planta de tratamiento de agua residual, generación de lodos durante el proceso de tratamiento de agua y agua residual).
3. Aire (emisiones de GEI debido a la energía utilizada, emisiones de gases de los procesos de tratamiento de agua y agua residual).

En la actualidad, para que una ciudad o metrópoli pueda llegar a ser considerada ecológicamente sostenible, debe contar con una sociedad ambientalmente responsable, una infraestructura urbana sostenible y una ecoeficiencia que le permita ser aquella que satisface sus objetivos de desarrollo humano (presentes y futuros), sin crecer a partir de materia y energía más allá de las capacidades de regeneración y absorción de su entorno local, nacional e internacional (Gasson, 2002).

2.5 Gestión holística integral de la sostenibilidad hídrica.

La comunidad internacional, los gobiernos y asociaciones han tomado conciencia sobre la necesidad de que los países desarrollen planes de gestión de los recursos hídricos con una visión sostenible, empleando estrategias mundiales de desarrollo con objetivos, metas, sistemas de control y medición, como es el caso de la cuenca hidrográfica y sistema hídrico (CEPAL, 2017).

En 2015 se planteó finalmente un enfoque más holístico en los ecosistemas para el agua y el desarrollo, analizados desde el punto de vista de las múltiples interacciones que los caracterizan, donde los recursos hídricos y su resiliencia son claves para la reducción de la

pobreza, el crecimiento inclusivo, la salud, y la seguridad alimentaria y una armonía con el medio ambiente natural, en el que, formula la Visión 2050, de *El Agua para un mundo sostenible*, (WWAP, 2015, p.2), de la cual se destaca lo siguiente:

- ✓ *...“Se dispone de agua suficiente y segura para satisfacer las necesidades básicas de cada persona, con estilos de vida y comportamientos saludables que se mantienen fácilmente a través de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento fiables y asequibles, a su vez apoyados por una infraestructura equitativamente extendida y eficientemente administrada”... “El agua es debidamente valorada en todas sus formas, **con aguas residuales tratadas como un recurso** que aprovecha la energía, los nutrientes y el agua dulce para su reutilización.”... “Los **enfoques integrados para el desarrollo, la gestión y el uso de los recursos hídricos** - y los derechos humanos - **son la norma**”...*

Hoy en día muchas ciudades enfrentan problemas de escasez que afectan de manera directa la calidad de vida y las perspectivas económicas de su población, ante una gestión ineficiente de los recursos hídricos, la cual requiere, desde hace tiempo, ser integral y dejar atrás el pensamiento segmentado y lineal, mediante la implementación de un enfoque holístico (BM, 2012).

La Declaración de Johannesburgo estableció la necesidad de desarrollar planes de gestión integrada y eficiente del agua, como una de las acciones que contribuirían a proteger y mejorar la gestión de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular, base del desarrollo económico y social (ONU, 2002b).

Para la Asociación Mundial para el Agua, (Global Water Partnership), las prácticas no sostenibles y el hecho de que el agua se ha considerado como un bien gratuito, deben ser reemplazadas por un enfoque holístico basado en el concepto de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), al que califica como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

Lo anterior se fundamenta en los principios de la declaración sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible de la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín, Irlanda, del 26 al 31 de enero de 1992, (OMM, 1992) que se establecen en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Principios sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible.

PRINCIPIO	CONCEPTUALIZACIÓN
Principio No. 1 El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente	La gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrológica o un acuífero.
Principio No. 2 El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles	El planteamiento basado en la participación implica que los responsables de las políticas y el público en general cobren mayor conciencia de la importancia del agua.
Principio No. 3 La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua	Este papel primordial de la mujer como proveedora y consumidora de agua y conservadora del medio ambiente viviente rara vez se ha reflejado en disposiciones institucionales para el aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos.
Principio No. 4 El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico	En virtud de este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso a un agua pura y al saneamiento por un precio asequible. La ignorancia, en el pasado, del valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante de conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y de favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos.

Elaboración propia a partir de los datos de la Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: cuestiones de desarrollo para el siglo 21, 26-31 enero de 1992, Dublin, Irlanda: La Declaración de Dublin e informe de la conferencia (OMM, 1992).

La GIRH promueve el desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales, la que está íntimamente vinculada con el desarrollo sostenible (SEMARNAT, 2014), al significar importantes ahorros en el costo, al mejorar la calidad de vida al incrementar la eficiencia de los servicios de agua, y reducir el costo económico derivado de una mala gestión del agua (BM,2012).

Bajo el llamado “enfoque integral” se asevera que para hacer gestión del agua se requiere saber manejar la oferta de este recurso de manera sostenible en el tiempo, (OPS, 2001); es decir, es necesario conocer la disponibilidad y el uso de los recursos hídricos, al igual que de la infraestructura requerida para ello, como los sistemas de abastecimiento de

agua potable, de drenaje sanitario, de tratamiento de agua residual y abastecimiento de ART.

La Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible indica que las tres cuartas partes de la población que tienen problemas con el acceso al agua potable se encuentra en los países en vías de desarrollo (Barlow, 2001), donde la falta de planificación urbana y consideraciones ambientales que establezcan lineamientos enfocados a la sostenibilidad hídrica y de la infraestructura para su gestión integral adecuada derivan en problemáticas de contaminación de este vital recurso, y que se asocia a problemas de salud.

Los sistemas de infraestructura urbana relacionados con la gestión integral del agua deben de operar con base en criterios de sostenibilidad y eficiencia, al ser claves y estratégicos para la preservación de los recursos naturales, conforme al Principio de Selección Sostenible de Tecnologías que establece Daly (1990), donde, a su vez se deben privilegiar en ellos las tecnologías que incrementen la productividad, según Elvia (2000); siempre y cuando se asegure la preservación *del agua* como recurso natural.

El Consejo Mundial del Agua (WWC por sus siglas en inglés), reunido en la ciudad de Bakú, del 16 al 18 de marzo del 2017, destacó que la GIRH está en el núcleo del éxito para lograr una seguridad hídrica (ANEAS, 2017).

2.6 Importancia del reúso de agua residual tratada.

El proceso de tratamiento necesario para que un agua residual pueda ser reutilizada se denomina, regeneración y el resultado de dicho proceso es el agua regenerada, la cual es equivalente al de ART como se conoce en Latinoamérica (Saéz, 2010).

Las estrategias nacionales europeas reconocen y aceptan cada vez más el potencial del reúso del ART, para aportar beneficios ambientales, sociales y económicos significativos, que pueden garantizar un suministro de agua fiable, independientemente del clima estacional de la zona (EC, 2016).

En la visión estratégica integral de Nuevo León para 2030 se establece que ante la situación actual y las expectativas de crecimiento demográfico, *“el camino a tomar es el de optimizar y reusar el agua disponible”* (SDS, 2010).

Bajo la premisa de que el agua potable asequible y accesible es un derecho inherente al ser humano, como lo establece la Organización de las Naciones Unidas, el tratamiento el agua residual y el reúso de dichos efluentes tratados se adhiere al conjunto de acciones que posibilitan parte de la solución para satisfacer el abasto y el suministro del agua. (CESOP, 2017)

Con la excepción de productos exóticos, *“el agua es el mejor disolvente que existe, si el agua no fuere así no podría sustentar la vida”* (Guerrero, 1991, p.15), y es por esta gran capacidad de disolver otras sustancias que es tan fácil causar un daño ambiental, hasta llegar incluso a hacerla inservible para la vida, lo cual implica, como indica Gasson (2002) que debe ser restaurada y conservar, mediante sistemas de tratamiento y de reúso de los efluentes tratados, como una estrategia de desarrollo sostenible a través de un ciclo virtuoso de uso y RH como parte del ciclo urbano del agua.

La insuficiencia de los sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento suele traer consigo múltiples y variados problemas sanitarios; por ejemplo, diarreas, esquistosomiasis, e infección por el gusano de Guinea; además, pueden generar condiciones propicias para que se críen mosquitos que transmiten el dengue, el paludismo y otras (OMM, 1992). En tal sentido, para la UNESCO es necesario repensar la forma en que se viene gestionando el agua residual, cambiar el paradigma de la gestión, pasando de tratar y desechar a reducir, reutilizar, reciclar y recuperar (UNESCO, 2017).

Actualmente, se estima que en el mundo más del 80 por ciento del agua residual (más del 95 por ciento en algunos países en desarrollo) se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno y dos tercios de la población mundial vive en regiones donde sufren escasez de agua al menos un mes al año (WWAP, 2017).

Los sistemas de tratamiento de agua residual mediante procesos y operaciones unitarias son en sí parte de un modelo lineal de captación, utilización y disposición del agua que ha satisfecho las necesidades primordiales de las ciudades y de quienes las habitan durante décadas, al concluir finalmente en un vertido de los efluentes tratados a cuerpos receptores superficiales, confiando una buena parte de la tarea de regeneración al ciclo biológico natural del agua (Metcalf & Eddy, 1996).

Hoy en día, y desde el punto de vista tecnológico y económico, el agua residual es una fuente potencial no convencional de abastecimiento de agua confiable para diferentes usos, incluyendo el suministro de agua potable en algunos países desarrollados, (AWWA, 2016). No obstante, en el nivel mundial, más del 80% del agua residual generada por la sociedad regresa al ecosistema sin haber sido tratadas o reutilizadas (WWAP, 2017).

El reúso del ART debidamente planificada genera una nueva fuente de suministro de agua, capaz de aportar recursos hídricos adicionales; además de una reducción del aporte de contaminantes biodegradables a los cuerpos naturales de agua, ofrece un aprovechamiento de los elementos nutritivos, contenidos en el agua y, de manera muy importante, provee mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible (Saéz, 2010).

El uso seguro del agua residual y el reúso del ART sigue sin ser una práctica común dentro de la gestión integral del agua o ciclo urbano del agua, ante la escasez de agua que aumenta en muchas regiones hoy en día existe el reconocimiento de las naciones sobre la importancia de la recolección, tratamiento y reutilización del agua residual (WWAP, 2017).

2.6.1 Agua residual como fuente no convencional.

Desde la antigüedad, el RH del agua residual doméstica, que se compone, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales, se constituyó como fuente no convencional de agua, que se utilizó principalmente para el riego agrícola por civilizaciones prehistóricas desde la Edad de Bronce; posteriormente, fueron utilizadas para otros usos complementarios al riego agrícola como la fertilización por las civilizaciones Helénicas y posteriormente por los romanos en áreas cercanas a ciudades como Atenas y Roma (Tzanakakys et al, 2007).

En 1531 surgen como concepto de reúso de agua residual, las “Sewage Farms”, que consiste en la disposición del agua residual en la tierra de cultivo y para el riego. Este concepto operado en Banzulu, Silesia, se replica en Edinburg, Escocia y los siglos siguientes en ciudades de Europa y Estados Unidos en rápido crecimiento, como en Gennevilliers, París en 1872, por lo que se consideraban cada vez más como una solución para la eliminación del agua residual hasta mediados del siglo veinte; pero esto provocó serios problemas ambientales y de salud a las poblaciones (Tzanakakys, 2014).

Los primeros sistemas de alcantarillado modernos se construyeron por primera vez a mediados del siglo XIX, como consecuencia del suministro de agua contaminada y los brotes de cólera que ocurrieron entre los años 1832, 1849 y 1855 en Londres, siendo la primera solución ante la exacerbación de condiciones insalubres provocadas por la industrialización pesada y la urbanización en las “Ciudades” (Ashton, 1991).

Los primeros *Sistemas de tratamiento de agua residual* modernos aparecieron a mediados del siglo XIX; sin embargo, el RH del agua como actividad planificada comenzó hace aproximadamente un siglo, con el uso de *efluentes básicamente tratados en Estados Unidos* para Irrigar Golden Gate Park en San Francisco, California (Hyde, 1937) y a partir de entonces, las aplicaciones de RH no potable han crecido sustancialmente, desde el riego del paisaje urbano hasta el riego de los cultivos alimentarios, de refrigeración termoeléctrica (Asano, Leverenz, Tsuchihashi, Tchobanoglous, 2007).

Metcalf & Eddy (1996) denominaron como *Agua Residual* a la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, para las cuales los

métodos de tratamiento consisten en el uso de fenómenos físicos denominados *operaciones unitarias*, o con base en procesos químicos y/o biológicos denominados *procesos unitarios*, que se agruparon para constituir los llamados “*Tratamientos*”.

El *Tratamiento Primario* consiste en operaciones físicas como la sedimentación y el desbaste; el *Tratamiento Secundario* emplea procesos biológicos y químicos para eliminar la mayor parte de la materia orgánica del agua residual; y el *Tratamiento Terciario* o *Avanzado* que emplea combinación de procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes cuya reducción con el tratamiento secundario no es suficiente (Metcalf & Eddy, 1996), lo que en suma integra el *Sistemas de Tratamiento* que actualmente se realiza en las infraestructuras denominadas *Plantas de Tratamiento de Agua Residual*, conocidas como *P’tars*.

El *tratamiento secundario* es el mínimo aceptable establecido generalmente para el vertido en cuerpos receptores como aguas superficiales, sin embargo, en lugares donde el abastecimiento de agua no es capaz de satisfacer la demanda de dicho recurso, no debe verse como un residuo a eliminar, sino como un recurso potencial de RH (Metcalf & Eddy, 1996).

El producto del tratamiento es el agua del efluente que cumple las características físicas, químicas y biológicas que le son inherentes para considerarse como ART, agua renovada, agua regenerada, agua recuperada o agua reciclada, y su división en clases en función del grado de cumplimiento de las características requeridas o calidad determinadas en función de su destino de RH (Metcalf & Eddy, 1996).

Basados en que el agua residual se produce de una forma relativamente continua, puede considerarse como una *fuentes no convencional de agua* con características de continuidad, por lo que una opción adecuada para cumplir el objetivo es el reúso del ART para determinados usos, que supone una garantía adicional en el suministro; sobre todo en épocas de escasez (MAPAMA, 2010).

Esta “fuente” no convencional de agua aumenta la disponibilidad del recurso agua para usos de menor exigencia de calidad que los requeridos para el abastecimiento a las poblaciones, llevada hasta el usuario final mediante las necesarias infraestructuras de transporte, regulación y distribución, lo que, en definitiva, supone una garantía adicional en el suministro, sobre todo en épocas de escasez (MAPAMA, 2010).

Se estima que los países de ingresos altos tratan cerca del 70% del agua residual municipal e industrial que generan; el cual cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos; en tanto que en los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento, lo que repercute en que el 80% del agua residual se vierte sin ningún tratamiento a cuerpos receptores (WWAP, 2017).

El futuro se situará directamente en un tratamiento adecuado para propósitos y sistemas más distribuidos que pueden estar interconectados y controlados de forma autónoma (Angelakis et al, 2014), que en su contexto y desarrollo tecnológico presenta avances en el tratamiento de agua residual segura y sostenible, su reutilización y gestión de biosólidos mediante infraestructura urbana especializada y EE.

Dependiendo de su calidad es el destino de uso o reúso, inicialmente evaluada mediante un índice de calidad del agua, que se determinaba en función de las concentraciones de compuestos químicos y biológicos presentes, donde el criterio de concentración aceptable de los anteriores parámetros y el número de parámetros y contaminantes involucrados determinaban, como ahora, su destino de uso (Jiménez, 2017).

De esta forma, Paranychianakis, Salgot, Snyder & Angelakis (2015) consideran que ante las necesidades de la misma humanidad, la restauración y mejora del agua utilizada, así como las acciones para conservarla y utilizarla de manera responsable, mediante el tratamiento y disposición de las aguas residuales, da origen al RH Contemporáneo para la sostenibilidad hídrica.

En la actualidad, el reúso potable directo del ART mediante procesos avanzados en un sistema de abastecimiento de agua potable se considera como una solución innovadora y sostenible para el suministro de agua de gran potencial para el futuro cercano (AWWA, 2016).

La carencia e ineficiencia de la infraestructura es un problema fundamental para todos los países, aunado a que la viabilidad del reúso de los efluentes tratados del agua residual depende de su origen y de la reutilización prevista; por ejemplo, el agua residual industrial puede ser tratada *in situ* y “reciclada” inmediatamente o vertidas en los sistemas de alcantarillado municipales los cuales requieren de su saneamiento para su reúso directo planeado como agua residual tratada o regenerada (WWAP, 2017).

2.6.2 Reúso del Agua Residual Tratada.

El reúso o reutilización del ART implica usarla más de una vez para expandir el suministro de agua disponible de una comunidad, y su práctica ocurre en varias formas a través del mundo, donde los siguientes términos se usan comúnmente para describir sus tipos conforme a la Tabla 2.4 (CONAGUA, 2016d).

Tabla 2. 4 Tipos de reúso de efluentes tratados.

Tipo	Descripción
<i>Reúso Directo</i>	<i>Es la explotación, uso o aprovechamiento de agua residual tratada o regenerada en actividades agrícolas, urbanas e industriales, antes de su descarga en un cuerpo de agua.</i>
<i>Reúso Indirecto</i>	<i>Es la explotación, uso o aprovechamiento de agua residual tratada o regenerada de un cuerpo receptor, después del punto de descarga.</i>
<i>Intercambio</i>	<i>Es la explotación, uso o aprovechamiento de agua residual tratada o regenerada como fuente de suministro en actividades, donde el usuario deja de emplear el agua de primer uso.</i>

Fuente: (CONAGUA, 2016d).

Los principales rubros para el RH de efluentes tratados son: riego (tanto agrícola como paisajístico), recarga de acuíferos, barreras de agua de mar, aplicaciones industriales, sistemas de doble distribución para el lavado de inodoros y otros usos urbanos (Tchobanoglous, Leverenze, Nellor&Crook, 2011).

Un modelo de gestión del agua sostenible debe preservar el entorno manteniendo una determinada complejidad del mismo, a la vez que tiene que proveer agua al sistema urbano según su destino de uso para el mantenimiento de su organización. Ello es posible si el modelo se desarrolla con la intención de incrementar su capacidad de anticipación. Lo anterior contribuye a disminuir la presión sobre los ecosistemas, que también son demandantes de agua, a través de reducir la extracción de recursos y de disminuir la carga contaminante vertida en la cuenca (Rueda, 1999).

En los Estados Unidos, las diferentes categorías de destino de reutilización de ART se muestran en la Tabla 2.5, y sus requisitos normativos son referenciados en el apéndice C del documento de Directrices para Reúso de Agua de 2012, publicado por la *Environmental Protection Agency* (EPA, 2012).

Las regulaciones y directrices relativas al RH de los efluentes tratados derivados de procesos y operaciones unitarias de las plantas de tratamiento de agua residual varían considerablemente entre los Estados que conforman la unión americana, donde la calidad y los requisitos de tratamiento son una parte importante de las regulaciones y directrices de cada uno de ellos (EPA, 2012) conforme a la Tabla 2.5, donde se determina la clasificación de los destinos de reúso del ART permitidos.

Tabla 2. 5 Clasificación de usos de Agua Residual Tratada de la EPA.

Clasificación		Descripción
Reúso Urbano	No Restringido	El reúso de ART o regenerada para aplicaciones no potables en entornos municipales donde el acceso público no está restringido.
	Restringido	El reúso de ART o regenerada para aplicaciones no potables en entornos municipales donde el acceso público es controlado o restringido por barreras físicas o institucionales, como esgrima, señalización de asesoramiento o restricción de acceso temporal.
Reúso Agrícola	Cultivos Alimenticios.	El reúso de ART o regenerada para irrigar cultivos alimentarios destinados al consumo humano.
	Procesado de Cultivos Alimenticios y Cultivos No Alimenticios.	El reúso de ART o regenerada para regar los cultivos que se procesan antes del consumo humano o no se consumen por los seres humanos.
Reúso en Embalses	No Restringido	El reúso de ART o regenerada en un embalse en el que no se imponen limitaciones a las actividades recreativas acuáticas de contacto corporal.
	Restringido	El reúso de ART o regenerada en un embalse donde el contacto corporal está restringido.
Reúso Medioambiental		El reúso de ART o regenerada para crear, mejorar, sostener o aumentar las masas de agua incluyendo humedales, hábitats acuáticos o caudales.
Reúso Industrial		El reúso de ART o regenerada en aplicaciones e instalaciones industriales, producción de energía y extracción de combustibles fósiles.
Recarga de Acuíferos Subterráneos-Reúso No Potable.		El reúso de ART o regenerada para recargar los acuíferos que no se utilizan como fuente de agua potable.
Reúso Potable	Reúso Potable Indirecto	Aumento de una fuente de agua potable (agua superficial o subterránea) con ART o recuperada seguida de un reservorio amortiguador ambiental que precede al tratamiento normal del agua potable.
	Reúso Potable Directo	La introducción de ART o regenerada (con o sin retención en un reservorio de almacenamiento manipulado) directamente en una planta de tratamiento de agua, ya sea colocada o alejada del sistema avanzado de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Basado en la Tabla 2.1 de las Guías para Reúso de Agua de la EPA (EPA, 2012).

En Japón, Tokio es una de las ciudades líderes en la implementación exitosa de la reutilización de agua residual, desarrollando dos sistemas de distribución de agua, uno para la entrega de agua de calidad potable y uno para la entrega de agua residual tratada y el aumento de la corriente en el área de Shinjuku de Tokio (SECAP, 2007).

El agua filtrada con arena, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de Ochiai, está clorada y se usa para limpiar el agua del inodoro en 25 locales comerciales de gran altura y para aumentar el flujo; cuyo sistema funciona con éxito desde 1984, suministra agua residual tratada hasta un máximo de 8.000 m³/día (SECAP, 2007).

En México, el punto 1.2.1 del Programa Nacional Hídrico 2014-2018 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 publicado en el Diario oficial de la Federación el 8 de abril de 2014 (SEMARNAT, 2014b), especifica que, a fin de reutilizar el agua tratada, se requiere construir la infraestructura necesaria para conducir los efluentes de las plantas de tratamiento a los sitios donde se hallan las actividades que reutilizan el agua.

Por lo anterior, y para efectuar el “Reúso directo planeado y el intercambio” a través de un SAART, siendo el principal enfoque de la presente tesis, es necesario que la “fuente” suministre una cantidad y calidad de ART que cumpla los requisitos que le son inherentes, de acuerdo con el tipo de aplicación o destino de la misma (Metcalf & Eddy, 1996).

El diseño y crecimiento de grandes sistemas de abastecimiento de ART en zonas como Europa, Medio Oriente, (MAPAMA, 2010), los Estados Unidos de América, incluso Asia, es acorde al destino de uso, para los cuales se destinan grandes recursos económicos tanto para su operación como para su mantenimiento; por ello es necesario el establecimiento de normas que les regulen (Fernández, 2016).

De esta forma, el uso del agua regenerada o residual tratada puede destinarse con base en la calidad requerida en la Tabla 2.6.

Tabla 2. 6 Normativa Mexicana y reúsos recomendados de Agua Residual Tratada.

Normativa	Establece	Tipo de reúso	Reúso recomendado
NOM-001-SEMARNAT-1996	<i>Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales.</i>	<i>Directo, Indirecto e Intercambio</i>	<p><i>I.-Agricultura: Irrigación para la Agricultura y Regiones Áridas.</i></p> <p><i>II.-Público-Urbano: Lavado de Autos y Camiones, Lavado de Calles y Banquetas, Hidrantes y Cisternas para control de Incendios, Baños y Mingitorios, Fuentes Ornamentales, Mantenimiento de Caminos y Supresión de Polvo.</i></p> <p><i>III.-Protección de Vida Acuática, Medio Ambiente y Recreativo: Mantenimiento de Humedales, Gasto Ecológico en Ríos de Bajo Flujo, Lagos, Lagunas, Estanques e incluso Nieve Artificial.</i></p>

<p>NOM-002-SEMARNAT-1996</p>	<p><i>Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en los sistemas de alcantarillado municipal.</i></p>	<p><i>Intercambio (No Tratadas)</i></p>	<p><i>Industrial: para su tratamiento y reciclado en Plantas Generadoras de Energía Eléctrica, Refinerías, Limpieza, Torres de Enfriamiento, Agua de Proceso, Industria Química, Manufactura de Pulpa, Manufactura de Papel y Cartón, Industria Textil e Industria de la Construcción.</i></p>
<p>NOM-003-SEMARNAT-1997</p>	<p><i>Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua residual tratada reusada en servicios al público.</i></p>	<p><i>Directo, Indirecto e Intercambio.</i></p>	<p><i>I.-Agricultura: Irrigación para la Agricultura y Regiones Áridas.</i></p> <p><i>II.-Público-Urbano: Lavado de Autos y Camiones, Lavado de Calles y Banquetas, Hidrantes y Cisternas para control de Incendios, Baños y Mingitorios, Fuentes Ornamentales, Mantenimiento de Caminos y Supresión de Polvo.</i></p> <p><i>III.-Protección de Vida Acuática, Medio Ambiente y Recreativo: Mantenimiento de Humedales, Gasto Ecológico en Ríos de Bajo Flujo, Lagos, Lagunas, Estanques e incluso Nieve Artificial.</i></p> <p><i>IV.-Paisaje: Parques y Jardines, Camellones, Campos de Golf, Cementerios y Bosques.</i></p> <p><i>V.-Industrial: Plantas Generadoras de Energía Eléctrica, Refinerías, Limpieza, Torres de Enfriamiento, Agua de Proceso, Industria Química, Manufactura de Pulpa, Manufactura de Papel y Cartón, Industria Textil e Industria de la Construcción.</i></p> <p><i>VI.-Uso Indirecto para Agua Potable: Ríos, Lagunas, Lagos, Presas, otros Cuerpos Receptores Diversos y Mezcla con Aguas Superficiales de menor tamaño.</i></p>
<p>NOM-014-CONAGUA-2003</p>	<p><i>Establece los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con ART.</i></p>	<p><i>Directo</i></p>	<p><i>I.-Subterráneo: Reducir o revertir la declinación de mantos freáticos protección de agua subterránea, en Acuíferos Costeros contra intrusión de Agua, Almacenamiento en Lagunas, mezclada con agua de lluvia.</i></p> <p><i>II.- Situaciones de Emergencia: Mitigar efectos de fenómenos meteorológicos.</i></p>

Fuente: Elaboración propia a partir de información de CONAGUA (CONAGUA, 2016).

2.7 Gobernanza del reúso hídrico.

La gobernanza mundial con respecto a la protección del medio ambiente, en relación con los recursos hídricos, suele contemplar el uso de permisos y licencias, la aplicación de normas de calidad de emisiones o aguas residuales o la zonificación para el uso de la tierra (Sterner & Coria, 2012; WWAP, 2017).

Es importante destacar que la gobernanza o legislación y normatividad técnico-ambiental sobre el RH no es tan antiguo como su empleo, por lo que su especialización inicia realmente a partir de la toma de conciencia de que el agua es factible de agotarse, a partir de la conceptualización ambiental del Desarrollo Sostenible en el libro *Nuestro Futuro Común*, más conocido como el Informe Brundtland (WCED, 1987).

La disponibilidad media de agua en Israel es de 320 m³/habitante/año (Cabrera y García-Serra, 1998), por esta razón, la gestión integral y RH ha sido una constante para el Estado de Israel desde su creación en 1948, en virtud de que se vieron en la necesidad de producir y prosperar en un territorio cuya mitad es desierto, desarrollando técnicas para potenciar la sostenibilidad de su recurso hídrico limitado, mediante riego por goteo, depuración, desalinización, reutilización de agua residual (CIDIPAL, 2007).

Fernández (2001) indica que Israel estableció el marco legislativo para el control y la protección de los recursos hídricos mediante una Ley de Aguas de 1959, que a partir de 1971 prohíbe la contaminación directa o indirecta del agua. En su modificación de 1991 refuerza las sanciones por dichas prácticas, de las cuales destaca El Reglamento de Autoridades Municipales de 1981, que obliga a aquellos que generen agua residual a llevar a cabo el tratamiento adecuado de éstas.

En 2010 España estableció preliminarmente el Plan Nacional de Reutilización de Aguas, enfocado al RH (MAPAMA, 2010), cuya finalidad es contribuir en el logro de condiciones adecuadas del agua establecido en el artículo 92 bis de la Ley de Aguas Española, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001; donde, en general, señala que el Marco Normativo es la Directiva Comunitaria 91/271 de la Unión Europea de 1994, la cual norma lo relacionado a el agua residual urbana y su tratamiento.

El régimen legal para el RH del ART se inicia con la Norma RD 1620/2007, la cual se considera una de las primeras en el mundo en establecer los destinos y sus parámetros de calidad y valores máximos permitidos para cada uno de los usos como son: el agrícola, el recreativo, el industrial y el ambiental; así como los destinos prohibidos como son consumo humano e industria alimentaria; y conceptualiza el RH como “Reutilización” e introduce la denominación de aguas regeneradas a la tradicional ART (MAPAMA, 2010).

En los Estados Unidos de América se inició con la Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua de 1948, pero un incendio en el Río Cuyahoga, en 1969, que era uno de los ríos más contaminados, fomentó la conciencia para el control de la contaminación del agua, que culminó con la Ley de Agua Limpia (CWA) y la creación de la *Environmental Protection Agency* (EPA, SF).

Las regulaciones y directrices relativas al RH de efluentes tratados varían considerablemente entre los Estados para las diferentes categorías de destino de reutilización, las cuales son referenciadas en el apéndice C del documento de Directrices para Reúso de Agua de 2012 publicado por la EPA (EPA, 2012).

En México, la Constitución y los tratados internacionales son la máxima gobernanza de los aspectos ambientales. De ellos derivan las diferentes legislaciones y normas aplicables, que provienen de la Promulgación del Derecho Humano al Agua y el Saneamiento por la Asamblea General de las Naciones Unidas. La Ley General de Aguas de 2015 aún no ha sido publicada en el Diario Oficial de la Federación, y está suspendida, por lo que sigue vigente la de 1992 denominada Ley de Aguas Nacionales, la cual no contempla el concepto de *SAART*, y solo establece el término de reúso definiéndolo como: “La explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales con o sin tratamiento previo” (LAN, 2016).

El Artículo 9º de la Ley de Aguas Nacionales señala a La Comisión Nacional del Agua, como un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que se constituye como el Órgano Superior de carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, ejerce las atribuciones de la autoridad en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, entre las cuales destacan fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; el saneamiento, tratamiento y *reúso de agua* (LAN, 2016).

En los años de 1996 a 2002 se incorporaron en México las legislaciones en materia de agua residual con la creación de las Normas Oficiales Mexicanas (ANEAS, 2017):

- **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-002-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

- **NOM-004-SEMARNAT-2002**, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.
- **NOM-014-CONAGUA-2003**, que establece los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con ART.

La Comisión Nacional del Agua hizo público en 2007 el “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”, donde establece los lineamientos técnicos aplicables a los sistemas de abastecimiento de agua potable, drenaje sanitario y saneamiento; sin embargo, no contempla los SAART (SEMARNAT, 2007), por lo que suplementariamente se utiliza actualmente dicho manual para la implementación de SAART’s, al considerarse como equivalentes a ambos sistemas y, porque este documento se toma a su vez como referencia general para la construcción y operación de los sistemas de riego.

2.8 Infraestructura para el reúso de agua residual tratada.

Contar con sistemas de infraestructura especializados para el RH como parte del manejo integral, como indica Sejenovich (2015b), *“impulsa un uso y manejo múltiple del agua, con el fin de posibilitar que en calidad y cantidad se articule con su oferta eco sistémica ideal”*.

La eliminación centralizada de los desechos de agua sigue siendo el método predominante para el saneamiento y la evacuación de agua residual de fuentes domésticas, comerciales e industriales. Sin embargo, el cambio de la percepción de que el agua residual puede traer beneficios e impacto positivo a la salud y el medio ambiente, a través del tratamiento y reutilización de los efluentes, tiene beneficios económicos y puede concebirse como un insumo o recurso de valor (CONAGUA, 2016c).

De esta forma, los diferentes sistemas de infraestructura urbana y sus procesos para la gestión integral y sostenible del agua, como son los sistemas para RH, se pueden considerar como un sistema vital de soporte para las ciudades y sus tecno-sistemas (Odum, 1997).

Los sistemas centralizados de tratamiento de agua residual a gran escala ya no se consideran como la opción más viable para la gestión urbana del agua para los países desarrollados, en tanto que los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales que incluyen la reutilización de los efluentes tratados en forma planeada han ganado notoriedad en el mundo, puesto que permiten una recuperación de nutrientes y energía, ahorran agua dulce y ayudan a asegurar el acceso al agua en tiempos de escasez (WWAP, 2017; CONAGUA, 2016c).

De todas formas, los bienes y servicios que se producen tienen necesariamente que satisfacer una cierta necesidad y, en función de ello se opera en el mercado (Sejenovich (2015a), por lo que los *sistemas de abastecimiento de ART,(SAART), como infraestructura urbana para RH*, son considerados el medio para satisfacer las necesidades de los ecosistemas y tecno-sistemas, al existir un mercado ambiental, social e industrial para su comercialización, por lo que su sostenibilidad y su *eficiencia* podrían asegurar un servicio adecuado a los consumidores y evitar fuertes impactos al medio ambiente.

2.8.1 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada.

Históricamente, la mayoría de la infraestructura urbana para la gestión hídrica se integra por componentes que conforman sistemas lineales de utilización y retiro, sin considerar los sistemas de abastecimiento de los efluentes tratados como una infraestructura necesaria para lograr el desarrollo sostenible del recurso hídrico y su gestión integral (AWWA, 2009).

El empleo en áreas urbanas de redes duales (ART/agua potable) de distribución es una práctica cada vez más extendida. El primer sistema de este tipo se instaló, en 1926, en Grand Canyon Village (Arizona, Estados Unidos), donde la escasa agua potable disponible debía bombearse desde un manantial situado en el fondo del Gran Cañón, salvando un desnivel de 1.000 m (AWWA, 2009).

Un SAART es aquel que consiste en una red de tuberías, instalaciones de bombeo, instalaciones de almacenamiento y dependencias diseñadas para transportar y distribuir ART de una o más instalaciones de tratamiento de agua residual doméstica a uno o más usuarios de ART, según lo señala el Código Administrativo del Departamento de Protección Ambiente del Estado de Florida de los Estados Unidos de América (DEF, 2007). Por su parte, la EPA establece los elementos técnicos vigentes para la planificación de los sistemas de abastecimiento de ART en sus Directrices de RH de 2012 (EPA, 2012).

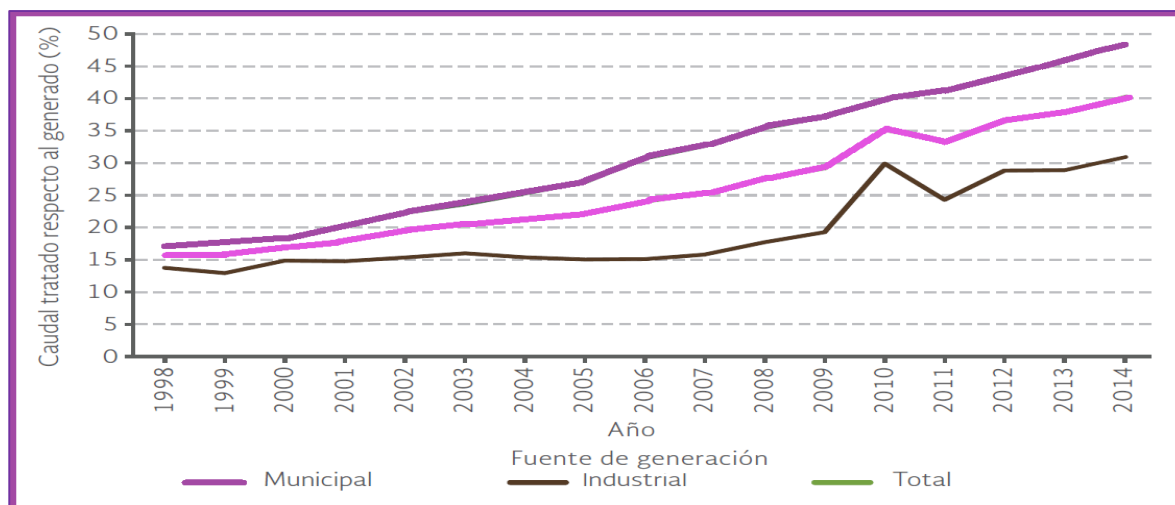
Si bien, los SAART son actualmente una necesidad para lograr el desarrollo del RH planeado en la gestión integral del agua, la normativa técnica vigente en México no los reconoce; sólo se referencia a obras de reutilización en el punto 1.2.1 del Programa Nacional Hídrico 2014-2018, del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de abril de 2014 (SEMARNAT, 2014b).

2.8.2 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada en México.

En México, los usos consuntivos agrupados del agua son: en primer lugar, el sector agrícola, que utiliza el 76.3% del volumen, seguido por el abastecimiento público, con el 14.6%, la energía eléctrica (excluyendo la hidroelectricidad) con un 4.8% y, finalmente, la industria auto-abastecida, con un 4.3% (Mantilla, 2017). El Plan Nacional Hídrico 2013-2018 menciona que se requiere construir la infraestructura necesaria para conducir los efluentes de las plantas de tratamiento a los sitios donde se hallan las actividades que reutilizan el agua (SEMARNAT, 2014b).

El incremento en las coberturas del servicio de agua potable en los últimos años ha logrado en 2015, una cobertura nacional del 92.5 por ciento, (95.7 en zonas urbanas y 81.6 en zonas rurales); así como en el servicio de alcantarillado, alcanzando un 91.0 por ciento en el nivel nacional, (96.6 en zonas urbanas y 74.2 en zonas rurales) y, a su vez, en el tratamiento del agua residual hasta alcanzar un 57 por ciento mediante 2,477 plantas municipales. Esto hace imprescindible incrementar la cobertura y eficiencia de los sistemas urbanos de RH, a través de los SAART (CONAGUA, 2016a).

Figura 2. 1 Caudal tratado respecto al generado 1998-2014 en México.



Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2016.

De esta forma, en México se ha duplicado la capacidad de tratamiento en los últimos 15 años, alcanzando 120.9 m³/s, de los 212 m³/s colectados, con un reúso de 106.9 m³/s de los efluentes tratados y colectados; sin embargo, persisten 19.8 m³/s que son vertidos a través de descargas dispersas y 91.1 m³/s que son depositados en los cuerpos receptores sin tratamiento alguno (CONAGUA, 2016a).

Se estima que en México, más del 50% de la población dispone en la actualidad de agua residual al medio natural, lo que hace hincapié en la situación de reutilización ineficaz del agua residual en el país (Cohen, Mamane, Lester, 2015); sin embargo, no se mantiene un inventario sobre los sistemas para el RH directo planeado de los efluentes tratados, los que deben de cumplir primeramente los requisitos de la NOM-001-SEMARNAT-2006 y posteriormente los requisitos de su destino de reúso.

Dentro del Programa Institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 2014-2018, publicado el 29 de abril de 2012 el Diario Oficial de la Federación de México (IMTA, 2014b), se señalan datos interesantes, hasta el año 2012, del uso y potencial de RH, indicando que el agua para consumo de todos los usos, en el nivel nacional asciende a 78,400 hm³. De este total, 67,000 hm³ se extraen de fuentes sostenibles, el resto se obtiene principalmente de la sobreexplotación de acuíferos.

Se estima que en el año 2030 la demanda se incrementará a 91,200 hm³ y será necesario proveer el servicio de agua potable a 36.8 millones de habitantes adicionales. Así mismo, se estima que para 2030 se requerirá infraestructura para dar tratamiento a 7.157 miles de millones de metros cúbicos de agua residual municipal y el agua residual industrial generará 2.1 miles de millones de metros cúbicos. Siendo así la suma de éstas el potencial de RH de efluentes tratados y de los SAART (Olivares, 2017)

Considerando que en el año 2030 la CONAGUA estima en 23 mil millones de m³ el déficit de agua para atender los requerimientos de la población, la industria y la agricultura; si se pudiera reúsar toda el agua tratada residual generada actualmente, se podría cubrir casi la tercera parte de la demanda esperada o toda la que requeriría la industria (CONAGUA, 2011).

De esta forma, actualmente existen SAART en diferentes estados del país. Tal es el caso del estado Sonora, que mantiene una alta similitud con el país de Israel en cuanto a recursos hídricos disponibles y clima. Sin embargo, sólo reúsa el 15% de sus efluentes tratados, los cuales presentan una calidad que en su mayoría incumple la norma y son reutilizados principalmente en la agricultura, la recreación y la industria, mediante SAART's basados en canales abiertos no revestidos (Cohen, et al, 2015).

Un SAART deficiente en su diseño, inadecuado al destino de reúso o sin mantenimiento puede resultar ineficiente y con grandes pérdidas de agua por evaporación, filtración e incluso riesgos sanitarios, si se añade una calidad inadecuada del ART, por lo que para potencializar el reúso de los cerca de 175.32 hm³ aprovechables en Sonora, se requiere optimizar e incrementar la eficiencia y el cuidado ambiental en sus sistemas de infraestructura (Cohen, et al, 2015).

En el Estado de Baja California, donde la agricultura, incluyendo la viticultura, se encuentra limitada por la disponibilidad de agua, y la Ciudad de Ensenada, adyacente a la zona viticultora, realiza el saneamiento del 100% del agua residual municipal y, aunque los efluentes tratados cumplen las características necesarias para reutilizarse en la agricultura, sólo 2% de esta agua se reusa en el riego de áreas verdes de la ciudad; cuando el resto se podría usar para irrigar cultivos de las vides y reducir la extracción de agua del acuífero (Acosta et al, 2013).

Un caso similar es la Ciudad de Tijuana, donde mantienen una infraestructura de “líneas moradas”; sin embargo, actualmente sólo reutiliza el 7% de los efluentes tratados, en lugar del 20%, proyectado; conforme con los indicadores del CESPT, organismo operador denominado Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT, 2017).

El Estado de Querétaro posee una capacidad de tratamiento de aguas residuales de 2,450 litros por segundo en sus 51 P'tars municipales, destacándose la importancia de tener infraestructura hidráulica que sirva para la reutilización del agua residual, y mantiene proyectos piloto para sistemas duales en fraccionamientos (DRQ, 2017).

La Ciudad de León, en el Estado de Guanajuato, cuenta con 17 plantas de tratamiento urbanas y 14 rurales, operadas por el organismo municipal denominado SAPAL, que señala que durante 2016 se trataron más de 51.5 millones de m³ de agua residual, de los cuales, el reúso de los efluentes tratados fue de 20 millones 774 mil m³; divididos, según su destino, en 19 millones 938,907 m³ para el riego agrícola; 836,573 m³ en áreas verdes y 410,610 m³ en el sector industrial, distribuidos a través de un SAART de 44.6 kilómetros (SAPAL, 2017).

Actualmente, la Ciudad de México opera a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) un total de 26 plantas de tratamiento de agua residual con una capacidad instalada de 5,511.5 litros por segundo y un caudal promedio anual tratado de 3,124 litros por segundo, lo que significa que sólo el 56% de esta capacidad instalada está siendo aprovechado en reúso industrial, recarga de lagos y canales, lavado de autos, riego de áreas verdes en camellones y centros deportivos y riego agrícola, a través de más de 900 kilómetros de tuberías que conforman el SAART (SACMEX, 2017).

Existen más y diversos ejemplos aislados de infraestructuras para el reúso del ART en diferentes entidades y ciudades de México; sin embargo, aún no se aprecia una integración de esfuerzos para el aseguramiento de la gestión hídrica sostenible que lo contemple en el nivel nacional.

2.8.3 Calidad requerida del agua residual tratada, para su reúso en México.

La calidad del ART, saliendo de un tratamiento, debe cumplir estrictamente con las Normas Oficiales Mexicanas:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

La Tabla 2.7 muestra los valores máximos permisibles en el ART y métodos, enfatizando en lo requerido por la NOM-0013-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 de DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno), Coliformes fecales (bacterias fecales detectadas según el “Número Más Probable”) y Nitrógeno Total conforme a ambas Normas Oficiales Mexicanas.

Tabla 2.7 Parámetros generales permisibles en agua residual tratada.

Parámetro	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Servicios al público con contacto directo*
	NOM-001-SEMARNAT-1996		NOM-003-SEMARNAT-1997	
DBO ₅ (MG/L)	150	75	30	20
COLIFORMES FECALES NMP/100ML	n.d	n.d.	1000	240
N _{TOTAL}	40	40	n.d.	n.d.
Análisis	Método	Límite inferior	Límite superior	Unidad
Alcalinidad M	D-1067-88	120	290	P.P.M
Cloruros	D-512-89	75	150	P.P.M
Dureza total	D-1126-86	240	350	P.P.M
Dureza de Calcio	D-1126-86	190	270	P.P.M
Sílice	D-859-88	12	20	P.P.M
Sulfatos	D-516-88	140	180	P.P.M
Fosfatos Totales	D-515-88	15	50	P.P.M
PH	D-1293-84	6.0	8.0	U. de PH
Conductividad	D-1125-82	900	1200	Micromhos
Materia Orgánica	UOP-514-68T	1	25	P.P.M
Detergentes	D-2330-88	0	3	P.P.M
Grasas y aceites	NOM-AA-3-1980	0	5.0	P.P.M
Sólidos Susp.	D-2276-73	1	45	P.P.M
Bacterias Coliformes	D-3506-78	0	100	COL.
Cloro Bromo Lb.	D-1253-68	0.2	0.3	P.P.M
Turbidez	D-1293-84	5	30	NTU
DBO	NOM-AA-28-1981	10	40	P.P.M
DQO	NOM-AA-30-1981	60	120	P.P.M

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADM y *NOM-SEMARNAT-003-1997: "Reúso en servicios al público con contacto directo, es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines".

2.9 Sistemas de abastecimiento de agua residual tratada en Nuevo León.

En el Estado de Nuevo León, la institución pública descentralizada del gobierno estatal denominada Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey es la responsable de brindar los servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento y reúso de agua en el nivel estatal, que opera 58 plantas de tratamiento, de las cuales, 5 son las encargadas del tratamiento de agua residual del área metropolitana, con una capacidad instalada de 12,775 litros por segundo para el tratamiento del agua residual conforme a la NOM-003-SEMARNAT 2017 con fines de reúso (SADM, 2017).

Nuevo León contaba en diciembre de 2015 con 52 plantas de tratamiento de agua residual con una capacidad instalada integra para tratar 14,610 litros por segundo, con una promedio de ART de 11,230.50litros por segundo producidos, lo que representa más del 54% del caudal extraído y potabilizado de sus fuentes, que ascendió a 6,082 litros por segundo en el mismo periodo; por lo que es muy amplia la potencialidad de la implementación y mejora de los SAART para el desarrollo de un RH (SEMARNAT, 2016b).

Dados los problemas para el suministro de agua potable para la ciudad de Monterrey y su área metropolitana, conforme a los datos de Bueno (2009), durante los años sesentas, el gobierno estatal y federal, en conjunto con la iniciativa privada, establecieron acuerdos para utilizar el agua de la recién construida presa Rodrigo Gómez (La Boca) para el consumo humano, en lugar de destinarla al uso industrial como era su objetivo inicial. Por otra parte, el IMTA (1999) señala a Monterrey como pionera en México y Latinoamérica en el tratamiento del agua residual y en el reúso de ART para la industria.

En 1955 se fundó la empresa Agua Industrial de Monterrey para distribuir 300 litros por segundo y en 1956 se creó, en Copropiedad por el Grupo Industrial Cydsa para el suministro de 60 litros por segundo(después se amplió a 120 lps) de ART, para 8 empresas del Grupo durante 45 años (hasta el 2001). La copropiedad fue más allá de una P'tars, fue un concepto de cogeneración de energía; del agua residual se obtuvo agua industrial, del agua industrial vapor, del vapor se generó energía eléctrica y del vapor exhausto energía térmica para los procesos industriales (Bueno, 2009).

En los años 80's se instalaron más P'tar y la primera red de distribución de ART de 15 kilómetros operada por Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. mediante convenio con Petróleos Mexicanos (PEMEX) de la P'tar San Rafael con 15 usuarios iniciales y capacidad de 450 litros por segundo (Bueno, 2009).

El desarrollo en el tratamiento de agua residual municipal durante el siglo XX en Nuevo León se aprecia en la Tabla 2.8, el cual inició de la mano del RH dadas las necesidades apremiantes de agua de primer uso para consumo humano presentes, de mediados a finales del siglo, principalmente en la Zona Conurbada del Área Metropolitana de Monterrey, (ZC-AMM) que incluye el municipio de Santiago (Bueno, 2009).

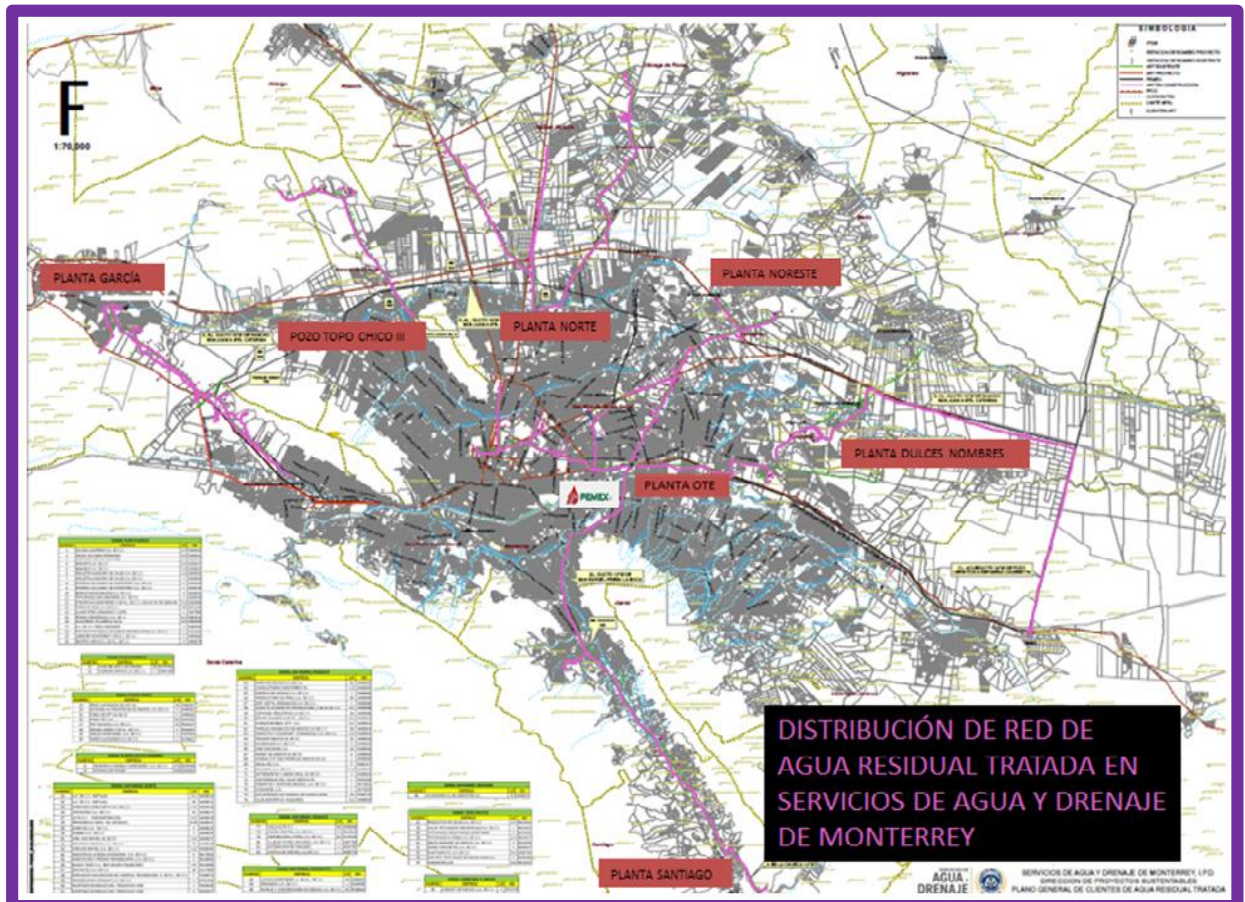
Tabla 2. 8 Desarrollo de P'tars en Nuevo León durante el siglo XX.

Década	P'tars	Capacidad (lps)
60's	<i>Agua Industrial de Monterrey con 13 usuarios y Red de Dist., AIMSU</i>	300
	<i>Comisión Federal de Electricidad (El mezquital, sin operar desde 2003)</i>	500
	<i>Papelera Maldonado, S.A. de C.V.</i>	60
	<i>Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey y Aceros Planos, S.A. de C.V. (cerrada en 1986)</i>	600
70's	<i>Comisión Federal de Electricidad (Huinalá)</i>	70
	<i>Club Campestre, S.A. de C.V. (para riego)</i>	50
	<i>PEMEX (S.R-Cadereyta)</i>	900
80's	<i>Corporativo de CYDSA (ahora de CEMEX)</i>	15
	<i>Corporativo de VITRO, S.A. de C.V.</i>	15
	<i>Agua Industrial del Poniente, S.A. de C.V.</i>	125
	<i>Club Cima para los empleados de los grupos CYDSA (Operada por la UTM, S.C. desde 2006)</i>	15
90's	<i>Dulces Nombres (Operada actualmente por SADM)</i>	5,000
	<i>Noreste (Operada actualmente por SADM)</i>	1,250
	<i>Norte (Operada actualmente por SADM)</i>	2,500
	<i>Santiago (SISTELEON-Las Misiones) Lagunas aireadas.</i>	140

Elaboración Propia con información de Bueno, 2009 y Aguilar, 2015

El SAART de Nuevo León está conformado, como se muestra en la Figura 2.2, por diferentes subsistemas de reúso de efluentes tratados de diferentes P'tar, que en su conjunto suman más de 299 kilómetros para distribuir más de 2,650 litros por segundo contratados para 113 usuarios que la destinan a usos industrial, público urbano y paisaje; así mismo, 1,200 litros por segundo para agricultura como agua de "intercambio" por agua de primer uso de la Presa Solidaridad "El Cuchillo" a los Ejidos San Nicolás y Francisco Villa, aunado al compromiso de entregar 6,000 litros por segundo de efluentes tratados como "intercambio" a través del Río Pesquería al Estado de Tamaulipas dentro de la cuenca del Río Bravo (SADM, 2017).

Figura 2. 2 Sistema de Abastecimiento de Agua Residual Tratada en Nuevo León.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento, (SADM, 2017).

2.9.1 Calidad y tarifas del agua residual tratada ofrecida en Nuevo León.

Los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey mantienen un Sistema de Gestión de la Calidad de sus Procesos de Operación y Saneamiento certificados en la Norma ISO 9001:2008, así como de sus Laboratorio Central certificado en la Norma ISO-17025, el cual, a través de su procedimiento P-SADM-SAN-04 mantiene declarado los requisitos para la prestación del servicio de ART, cuyos fundamentos normativos y legales se muestran en la Tabla 2.9. También establece los criterios técnicos, tarifarios y de la calidad de agua ofrecida señalados en la Tabla 2.10, y el rédito económico como producto de la comercialización del ART que se muestra en la Figura 2.3 (SADM, 2017).

Tabla 2. 9 Fundamentos para la prestación del servicio de ART en Nuevo León.

De Competencia (actuación)	
<i>Artículos, fracciones, incisos</i>	<i>Ley y/o Convenio y/o Publicación</i>
<i>Decretos Número 41 y 350. Expedidos por el H. Congreso del Estado de Nuevo León, publicados en el Periódico Oficial del Estado con fecha 9 de mayo de 1956 y 16 de agosto de 2000 respectivamente.</i>	<i>Ley que crea la Institución Pública Descentralizada "Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey"</i>
<i>Artículo 6, Fracción III, IV, V y XII.</i>	<i>Ley de Agua Potable y Saneamiento para el Estado de Nuevo León</i>
<i>Artículo 45</i>	<i>Ley de Aguas Nacionales</i>
<i>Punto 1 y 3.6</i>	<i>NOM-003-SEMARNART/1997</i>
De Responsabilidad u Obligación (imposición)	
<i>Artículos, fracciones, incisos</i>	<i>Ley y/o Convenio y/o Publicación</i>
<i>Artículo 14 del Decreto Núm. 350, expedido por el H. Congreso del Estado de Nuevo León, publicado en el Periódico Oficial del Estado con fecha 16 de agosto de 2000.</i>	<i>Ley que crea la Institución Pública Descentralizada "Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey"</i>
<i>Artículo 9</i>	<i>Ley de Agua Potable y Saneamiento para el Estado de Nuevo León</i>
<i>Artículo 44</i>	<i>Ley de Aguas Nacionales</i>
<i>Punto 4.4</i>	<i>NOM-003-SEMARNART/1997</i>
<i>Artículo 126 y 128</i>	<i>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LEGEPa)</i>
<i>Acuerdo Administrativo que reforma por adición de las fracciones 1, 11 i 111 en el inciso D) del Artículo 2°, relacionado con las cuotas y tarifas para la prestación de los servicios de agua potable, Drenaje Sanitario y Saneamiento, expedido por el Poder Ejecutivo del Estado</i>	<i>Publicado en el Periódico Oficial del Estado del 28 de diciembre del 2007, además de establecer su precio.</i>

Fuente: (SADM, 2017)

Tabla 2. 10 Requisitos administrativos y tarifarios del servicio de ART en Nuevo León.

REQUISITOS GENERALES			
<p>1.-Elaboración de contrato y/o convenio conforme a estudio de factibilidad, ejecución de proyecto y conexión de toma e instalación de medidor de consumo.</p>		<p>4.-La facturación será mensual y corresponderá al volumen suministrado, medido en metros cúbicos (m³). El valor mínimo a facturar será el 10% del volumen contratado, aun cuando el volumen usado o aprovechado sea menor.</p>	
<p>2.-Calidad del ART ofertada cumpliendo con los parámetros de la NOM-003-SEMARNAT-1997</p>		<p>5.-El costo por m3 de ART a facturar, corresponderá a la tarifa vigente durante el mes en que haya sido suministrada, la cual se actualizará de conformidad a los criterios y normas establecidas o que se establezcan por el consejo de administración de SADM, y se publique en el periódico oficial del estado y en la página de la institución: www.sadm.gob.mx a julio de 2017.</p>	
NOM-SEMARNAT-003-2007			
Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.			
	Servicios al público contacto indirecto u ocasional	Servicio al público contacto directo	
Parámetro	Límite máximo permisible		
	P.M.	P.M.	
Coliformes fecales (NMP/100 M.)	1000	240	
Huevos de helminto (H/LTS)	5	1	
Grasas y aceites	15	15	
Materia flotante	Ausente	Ausente	
Sólidos suspendidos totales	30	20	
DB05	30	20	
	Metales*		
		Gasto Aproximado Equivalente en l.p.s.	Tarifas \$/m³
	Consumo Mensual M3		
	1 a 130,000	Hasta 50	5.90
	130,001 a 259,200	Más de 50 hasta 100	5.54
	259,200 a 518,400	Más de 100 hasta 200	5.14
	518,400 a 777,600	Más de 200 hasta 300	4.74
	777,600 y más	Más de 300	4.33

	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4
Cianuro	2	3
Cobre	4	6
Cromo	1	1.5
Mercurio	0.01	0.02
Níquel	2	4
Plomo	0.5	1
Zinc	10	20

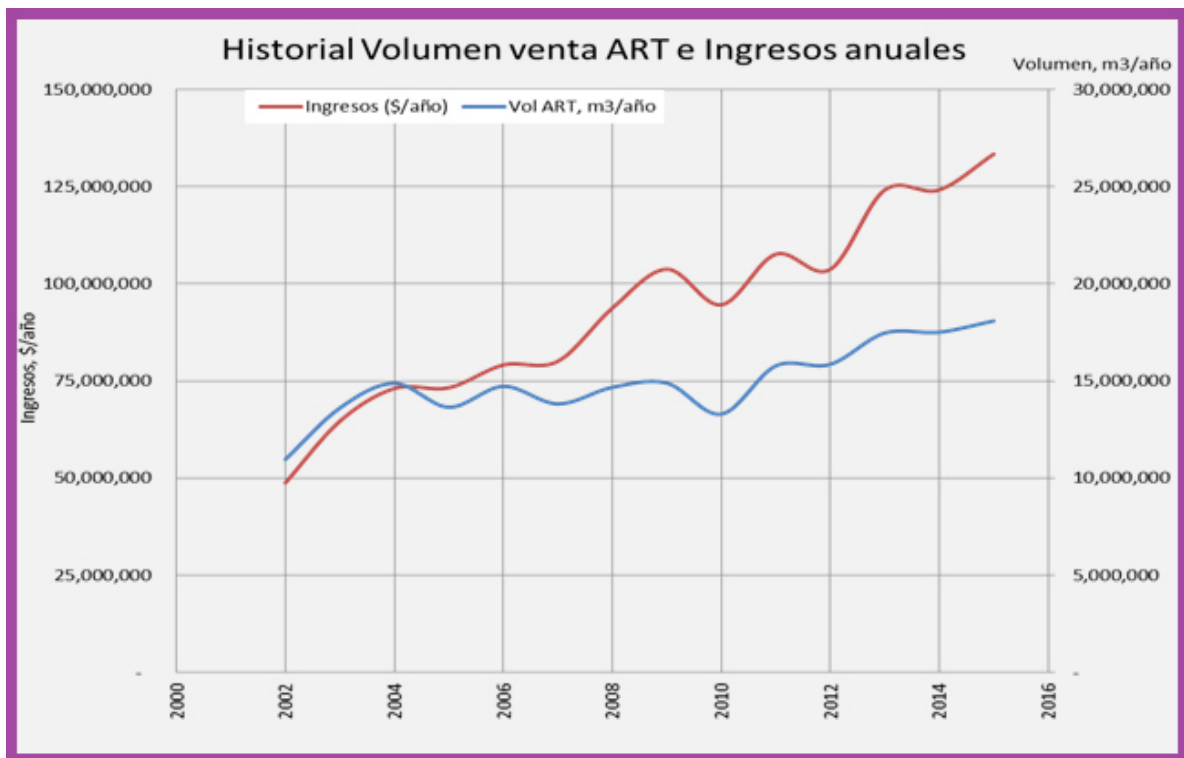
LMP: Límites máximos permisibles; P.M: promedio mensual; P.D: promedio diario.

3.-El ART no es apta para consumo humano, solo es apta para uso exclusivo de algunos procesos industriales y de riego en áreas verdes. Se presupone que el usuario tiene el conocimiento para el uso y manejo de este tipo de aguas, por lo cual es de su exclusiva responsabilidad el uso inadecuado de este tipo de agua y se deslinda de toda responsabilidad a Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., por el uso inadecuado de ésta agua, la que pudiera causarle o le cause algún daño a los bienes o seres vivos que estén en contacto con la misma una vez que ha sido entregada al usuario.

6.-El suministro de ART se realiza en forma ininterrumpida, las 24 horas del día de los 365 días del año.

El reúso de agua residual tratada en Nuevo León permite que se pueda privilegiar el agua de primer uso para la población y a su vez representa ingresos complementarios que representan una oportunidad para la sostenibilidad de la infraestructura de saneamiento en la Entidad (SADM, 2017).

Figura 2. 3 Volumen de venta de agua residual tratada e ingresos 2002-2015.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento, (SADM, 2017).

2.10 Criterios de diseño de sistemas de abastecimiento de agua residual tratada.

El reúso si es planificado, se constituye como un elemento importante en la gestión de los recursos hídricos, no solamente en los países de reconocida escasez hídrica, sino también en aquellos de reconocida disponibilidad natural abundante; sin embargo, si no se realiza una planificación, se vierte el peligro para la salud pública y consecuentemente el medio ambiente (Cirilo, Cabral, Silva, 2007).

Para que la reutilización sea segura desde el punto de vista sanitario y ambiental, es imprescindible que el agua residual sea tratada hasta que reúna las características de calidad apropiadas a su nuevo uso, siendo considerado como reúso planeado, y si se realiza en forma directa desde la planta de tratamiento, sin realizar un vertido a ningún cuerpo receptor (Pratz, 2001).

Donde para efectuar el reúso hídrico de manera segura evitando riesgos sanitarios y manteniendo la calidad del efluente tratado de acuerdo con el uso a que destina, implica que el ART sea transportada mediante infraestructuras de regulación y distribución, a través de obras hidráulicas hasta el punto de uso, lo que se considera un reúso directo planeado (Saéz, 2010).

Los métodos de diseño de SAART siguen desde hace muchos años los preceptos y fundamentos de la ingeniería hidráulica y sanitaria, tanto para la determinación de sus componentes, desde la fuente, como las redes de conducción y distribución, sus equipamientos de bombeo, la operación y regulación con base en las condiciones de demanda y proyecciones futuras, sus métodos para su selección, el dimensionamiento y el funcionamiento por gravedad o presión (Metcalf & Eddy, 1996)


En el nivel mundial existe un déficit de reglamentaciones técnicas para el diseño de infraestructuras hidráulicas especializadas que permitan un reúso directo planeado de efluentes tratados y la sostenibilidad hídrica. Tal es el caso de México, donde el diseño se realiza, en general, tomando como base principal el “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” (SEMARNAT, 2007), o especificaciones que generan algunos Estados; sin embargo, no se contempla ni establece la totalidad de lineamientos técnicos aplicables a los SAART's, al considerarse infraestructuras equivalentes a las de agua potable, sin tomar en cuenta diferencias técnicas de sus equipamientos.

En Colombia, por su parte, no se encuentra establecida una norma técnica que establezca los criterios y aspectos generales a tener en cuenta en los sistemas de reúso en el diseño de las instalaciones hidráulicas e infraestructura. Algunas empresas nacionales han innovado o replicado la utilización de estos sistemas mediante la incorporación de

tuberías con estándares industriales para el reúso, pero no existe una norma que condicione el diseño de tuberías y demás elementos del sistema (Dueñas et al, 2015).

En contra parte, Australia establece en el estándar AS 1319-1994, las condiciones para las instalaciones sanitarias del sistema de reúso de efluentes tratados. Con base en esto es necesario que los fabricantes adapten el diseño de las tuberías, accesorios, tanques, válvulas, etc., a la reglamentación y diseñen, si es preciso, nuevos elementos que permitan optimizar el funcionamiento del SAART. Así mismo, en el estándar actualizado AS 2700-2011, donde se establecen los códigos de colores para tuberías de acuerdo con el tipo y las características de fluidos que transporta, integra el color “Púrpura” no oscuro o “Lila” no claro, (magenta), para las tuberías y señalización del ART en los SAART’s conforme a lo señalado en la Tabla 2.11.

Tabla 2. 11 Estándar de color para identificación de agua residual tratada o regenerada.

Contenido de Tubería o Ducto	Nombre de color	Código de Color AS 2700	Aplicación
ART, Regenerada o Reciclada (Agua No Potable)	PÚRPURA 	Púrpura –P12 (No oscuro) Jacaranda – P24 (No oscuro) Lila – P23 (No claro)	ART, Regenerada o Reciclada (Clases A, B, C y D)

Elaboración propia en base a Norma Australiana AS 2700-2011 Colour Standards for general purposes.

En los Estados Unidos de América existen diferentes instituciones que han establecido criterios de diseño e incluso normas técnicas aplicables a los SAART, tales como la American Water Works Association (AWWA) que publicó el Manual M24, donde se analiza la planificación, el diseño, la construcción, el funcionamiento, el marco y la gestión de los sistemas de distribución duales de agua potable y no potable, principalmente a partir de agua residual tratada o regenerada, conforme a las directrices de la EPA y especificaciones nacionales de calidad de los efluentes tratados y sus tipos de reúso, adoptando, a su vez, el tono púrpura para las instalaciones de ART, mediante su estándar AWWW-C22 marcadas en blanco con una advertencia que diga "AGUA NO POTABLE" (AWWA, 2009).

En España, los aspectos que se refieren a su diseño y dirección de obra no difieren notablemente de cualquier otro sistema de tratamiento, regulación y transporte de recursos hídricos, para lo cual es necesario realizar un estudio de demandas identificando a los potenciales usuarios, su localización, su demanda, la estacionalidad de la misma y los requerimientos de calidad de acuerdo con la estacionalidad de la demanda; especialmente si está asociada con usos agrarios, éstos deben dotarse de las infraestructuras de regulación, almacenamiento transporte y distribución necesarios, que, en el caso de los usos urbanos, deben ser independientes de las redes de distribución

existentes, usualmente mediante tuberías enterradas en régimen hidráulico de presión, *diseñadas con especificaciones diferentes a los sistemas tradicionales de abastecimiento* con la finalidad de evitar errores de identificación, dadas las características del ART o regenerada, no apta para el consumo humano. (MAPAMA, 2015)

La norma ISO 24512:2007, en su versión Mexicana NMX-AA-149/2-SCFI-2008 (SE, 2009), indica que un sistema de abastecimiento de agua potable, generalmente comprende cuatro componentes y sus características generales son:

1. **Fuente de agua:** Cualquier curso de agua, ya sea subterráneo o superficial puede ser una fuente. El agua superficial puede incluir arroyos, ríos, lagos o embalses. *El agua de mar y el agua residual recuperada (ART) son cada vez más importantes como fuentes de agua.*
2. **Extracción y transporte:** El sistema de extracción de agua generalmente requiere de estaciones de bombeo para extraer agua subterránea o de la fuente superficial y para transportar el agua a la instalación de tratamiento, si existe, o utilizar sistemas de transporte por gravedad.
3. **Tratamiento:** Puede ser desde el básico, mediante instalaciones que proveen algún grado de desinfección, hasta plantas con procesos múltiples, que proveen clarificación (por ejemplo pasos de coagulación, floculación y filtración) con ajuste de pH según sea necesario para procesos de tratamiento óptimos.
4. **Almacenamiento, transporte y distribución (Sistema de Distribución):** Puede tener reservorios de almacenamiento aprovechando las características naturales físico topográficas o por razones de balance del abastecimiento en los períodos pico de la demanda. El agua se transporta a través de una serie de tuberías cuyo diámetro disminuye desde las redes principales hasta tuberías conectadas para los usuarios. Puede ser necesario instalar plantas de desinfección para garantizar la seguridad del agua potable que se abastece. Puede ser necesario también instalar estaciones de bombeo para mantener una presión adecuada. Se pueden instalar válvulas y equipos de medición a lo largo del sistema de distribución para realizar controles. Generalmente en el punto de entrega se instalan equipos de medición para medir el consumo.

En resumen, un SAART requiere infraestructura para la distribución y que esté diseñada y configurada por sistemas de bombeos de presión, sistemas de almacenamiento o regulación diario, sistemas de tuberías de transporte y redes malladas y sectorizadas de conducciones para suministro urbano y domiciliario, así como las tomas o acometidas y los sistemas de medición individual, en forma “casi” equivalente con los sistemas de abastecimiento de agua potable. Un esquema básico se resume en la Figura 2.4 siguiente:

Figura 2. 4 Esquema básico de un Sistema de Abastecimiento de Agua Residual Tratada.

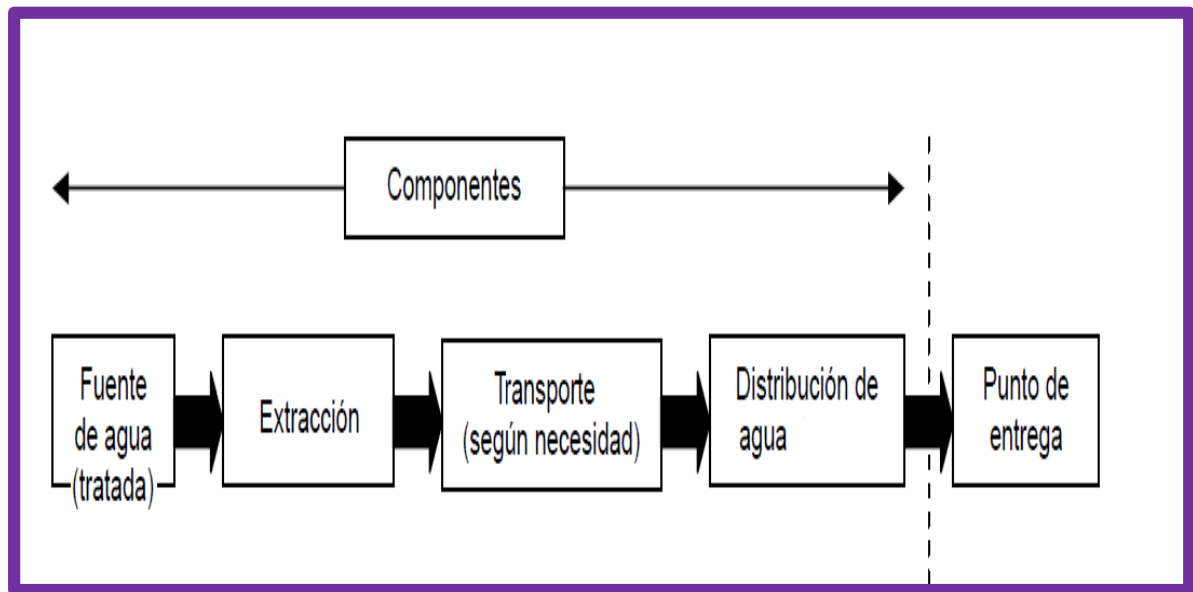


Figura: Elaboración Propia de Esquema básico de un Sistema de Abastecimiento de Agua Residual Tratada a partir de NMX-AA-149/2-SCFI-2008 p.38 (SE, 2009c).

En lo que respecta a la protección del ART desde el punto de tratamiento hasta el punto de uso, se observa que *hay importantes diferencias* entre el agua potable y el agua reciclada que no deben ser ignoradas, particularmente en lo que respecta al diseño, la operación y el mantenimiento del SAART. Las diferencias químicas clave tienen un énfasis particular en la materia orgánica, la presencia de contaminantes crónicos y microbianos emergentes y las implicaciones para los sistemas de distribución con respecto al diseño y la operación, donde una preocupación importante es la falta de regulaciones federales, ya que la degradación de la infraestructura de agua y saneamiento se ha convertido en una de las principales amenazas para la salud pública y la seguridad del agua (Garner, Zhu, Strom, Edwards and Pruden, 2016).

En un estudio reciente de 71 SAART's en los Estados Unidos de América y Australia se identificaron desafíos que se caracterizaron en nueve categorías por orden de importancia: infraestructura, calidad del agua, relaciones con los clientes, operacional, coste (precio), capacidad/oferta, regulación, mano de obra y misceláneo, donde las cinco primeras categorías representaron el 80% de los desafíos planteados por la industria, siendo los problemas de infraestructura y del aseguramiento de la calidad del agua como los problemas más frecuentes, (Jjemba, Johnson, Bukhari & LeChevallier, 2014), asociados con la gestión y el mantenimiento en los SAART's, que se mencionan en la Tabla 2.12.

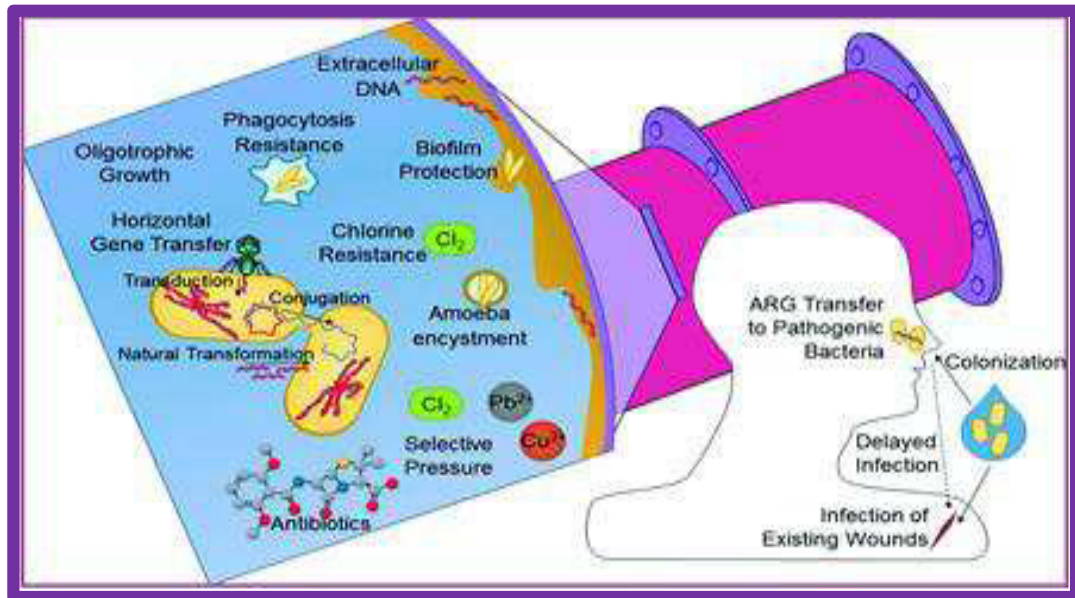
Tabla 2. 12 Problemas genéricos de infraestructura y operación en SAART.

Desafíos en Sistemas de Abastecimiento de Agua Residual Tratada	
1.-Falta de almacenamiento y regulación suficiente para satisfacer demanda.	2.-Deterioro grave de la Infraestructura y equipamiento por desinfección con valores altos de cloro residual, cuando el recomendado es 0,2 mg/l.
3.-Medición inadecuada de consumos. (Tipos de equipos de medición y los usuarios suelen estar situados muy separados)	4.-Alta corrosividad del agua por contenido orgánico y oxígeno disuelto que impacta a los componentes metálicos en el sistema de distribución.
5.-Desafíos para la conducción del agua hasta el lugar del destino de uso.	6.-Sistema de Distribución Ramificado y de afinidad Limitada.
7.-Fugas frecuentes en el sistema de cloración (alimentación líquida).	8.-Costo y costo-efectivo significa extender el sistema a clientes potenciales o falta de Cobertura.
9.-Conexiones cruzadas con líneas de agua potable (especialmente más allá del medidor del cliente)	10.-Sistemas de Distribución No enlazados (Asociado a la falta de interconexión y redundancia requerido para el suministro)
11.-Daños y fugas en las líneas de conducción. (Señalización, mantenimiento y optimización)	12.-Distribución de Presiones Inconsistente (Presiones bajas o sobrepresiones especialmente al final del sistema ante cambios de disponibilidad no regulada o demanda)
13.-Selección especializada de válvulas de control automático, de admisión expulsión de aire, on-off control y equipamientos adecuados para el tipo de uso y calidad del agua (Ante generación y desprendimiento de biofilms, el mantenimiento debe ser continuo si no se seleccionan adecuadamente)	14.-Crecimiento intenso de algas en cárcamos o depósitos abiertos que dañan equipos de bombeo por atascamiento (Derivado de los tiempos de retención y altas cargas de nutrientes típicas del ART)
15.-Nutrientes, Demanda bioquímica de oxígeno, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Suspendidos Totales, Materia Orgánica Disuelta y Materia Orgánica Natural, Contaminantes Emergentes y Patógenos oportunistas presentes en base a requerimientos de calidad, variaciones en el tratamiento efectuado y condiciones del sistema de distribución	16.-Rebrotes microbianos, Nitrificación, Olor, Coloración, Cambio de PH y Temperatura, Pérdida de desinfectante. (Asociados al incremento de tiempos de retención y edad del agua.)

Elaboración propia a partir de tabla de (Jjemba et al. 2014) y (Garner et al, 2016).

En la Figura 2.5 se muestran los procesos por los cuales las bacterias resistentes a los antibióticos y los patógenos oportunistas (OP) pueden re-crecer en los SAART's y las rutas de exposición relevantes como parte de los desafíos en un SAART, los cuales pueden derivar en afectaciones a la salud de quienes operan o están en contacto con dicha infraestructura urbana para el RH (Jjemba et al. 2014).

Figura 2. 5 Procesos de recrecimiento de patógenos y vías de exposición en un SAART.



Fuente: (Garner et al, 2016).

En resumen, se requiere establecer criterios y especificaciones especializadas de diseño para asegurar una gestión sostenible de la infraestructura de ART, teniendo en cuenta sus características físicas y condiciones operacionales, que son distintas en relación con los sistemas de agua potable (Garner et al, 2016).

CAPÍTULO 3

MÉTODO

La Ecoeficiencia (EE) es una herramienta metodológica destinada al logro del desarrollo sostenible y que puede ser adaptada para implementarse en un SAART. En el ámbito hídrico, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD) considera que la continua presión del crecimiento económico y demográfico sobre la disponibilidad de agua potable es cada vez más grave, por lo que recomienda enfocarse y adoptar la EE como herramienta para coadyuvar en la solución de dicho desafío (WBSCD, 2006a), ya que tiene un papel central en la promoción y contribución al desarrollo sostenible (Holliday, Schmidheiny & Watts, 2002).

De esta forma, el uso de herramientas metodológicas como el Modelo de EE en procesos e infraestructura para el RH, ya que el grado de desarrollo sostenible puede medirse mediante la EE que es una combinación de resultados económicos y ecológicos (Tianqun, Ping, Qian y Debin, 2017).

Los sistemas de agua urbanos son un ejemplo de sistemas complejos y dinámicos de acoplamiento humano-medio ambiente, que muestran comportamientos emergentes que trascienden las disciplinas científicas individuales, y que para sus sostenibilidad exigen un cambio de paradigma basado en una gestión holística para maximizar el uso y recuperación del agua, la energía, los nutrientes y los materiales, mediante un diseño que permita lograr una eficiencia óptima (Xin, Xiaobo, González-Mejía y Garland, 2015).

Actualmente, se pueden encontrar diversos sistemas descentralizados de gestión de agua residual que se consideran autónomos, en los que se recogen, tratan y disponen pequeños flujos de agua residual en o cerca del punto de generación, (Tchobanoglous et al, 2013), lo

que permite que tengan menores costos de operación, menor requerimientos de energía de conducción y una gestión más integrada de los recursos hídricos mediante el reúso de los efluentes tratados (Maurer, 2013), integrando para ello infraestructuras hidráulicas como SAART.

“La Gestión integrada del ciclo del agua en un territorio es una de las herramientas para desarrollar la Ecoeficiencia citada en el Fórum Ambiental” (Leal, 2005), y de suma importancia ya que la ciudad requiere, para subsistir, del aporte de agua, alimento, energía y materias primas (Brown & Gardner et al, 1998; Wackernagel y Rees, 2001).

Uno de los objetivos de EE es asegurar la provisión de agua para los distintos usos a corto y largo plazo, conforme a las proyecciones de crecimiento económico y poblacional, basando la oferta en la conservación de los ecosistemas reguladores y el ciclo hidrológico regional y orientando la demanda al consumo racional del recurso y la sostenibilidad del desarrollo socioeconómico regional (DAMA, 2002).

El RH se acepta actualmente como indispensable para la sostenibilidad del agua como recurso de abastecimiento para las ciudades; la EE es uno de los modelos escasamente utilizado para conducir al desarrollo sostenible de los Sistemas de Alcantarillado, Tratamiento de Agua Residual y los SAART. Conforme a las experiencias de los últimos años, la EE puede ser implementada en empresas, organismos y organizaciones del sector público, en sus sistemas y procesos e incluso a actividades muy concretas donde se use de mejor forma el componente técnico y de infraestructura que es esencial para lograr procesos con visión económica y ambiental (Leal, 2005).

La inversión en la gestión sostenible de recursos hídricos y ecosistemas es un prerrequisito para lograr una economía sólida y para ampliar las oportunidades de empleo en los sectores que dependen del agua, como la agricultura, la pesca, la silvicultura, la energía, la industria, el turismo y la salud; así como, indirectamente, otros sectores económicos. Las economías dinámicas y las oportunidades de empleo resultantes dependen de infraestructuras de agua eficaces (WWAP, 2016), con lo que se puede mejorar la eficiencia en el uso del agua es absolutamente necesario para hacer frente a la brecha proyectada del 40% entre la demanda y la oferta y para mitigar la escasez de agua para el año 2030 (PNUMA, 2011)

3.1 Concepto de Ecoeficiencia.

La eficiencia económico-ecológica se introdujo por primera vez como un vínculo de negocios con el desarrollo sostenible (Schaltegger & Sturm, 1990), dando origen al concepto generalmente conocido como Ecoeficiencia, acuñado por el industrial suizo

Schmidheiny (1992), portavoz del ahora Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 1998) lo definió como “una relación entre el valor económico de lo producido y el impacto ambiental de los productos o servicios”. Actualmente se establece que la definición integral de EE es:

"Proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta" (Schmidheiny, 2000).

Ecoeficiencia significa producir bienes y servicios con menos energía y menos contaminantes y menos costos (UNCTAD, 2001), que combina los componentes esenciales de las mejoras empresariales, monetarias y ecológicas, que son necesarias desde el punto de vista de la prosperidad económica, para aumentar el uso eficiente de los recursos y prevenir las emisiones (Verfaillie & Bidwell, 2000); además, se considera como un tema estratégico clave para los negocios mundiales hacia el desarrollo sostenible, sus compromisos y actividades (Huppel & Ishikawa, 2005).

La EE se fundamenta, a su vez, en reducir la sobreexplotación de los recursos naturales logrando un uso más sostenible de ellos y disminuir la contaminación asociada con los procesos productivos (Bartolomeo, Dal Maso, De Jong, et al., 2003).

La EE tienen como excelencia atender tres aspectos relevantes, (Castro, 1998) que corresponden a:

- 1) La calidad total, que involucra la productividad y calidad en la empresa.
- 2) La preservación del medio ambiente, que está relacionado con el desarrollo sustentable.
- 3) La salud y seguridad ocupacional; esto es lo concerniente a higiene y la seguridad en el trabajo.

La EE se considera también como una filosofía de gestión que exhorta a las empresas a buscar mejoras ambientales que produzcan, a su vez, beneficios económicos, lográndolo a través de mejores prácticas, métodos o técnicas más eficaces y prácticos para lograr un determinado objetivo (como la prevención o la minimización de la contaminación), utilizando los recursos naturales de forma más eficiente durante sus procesos de conversión en productos o servicios, con patrones de consumo más sostenibles, por lo que representa una contribución clave del mundo empresarial para la sostenibilidad de las sociedades (PNUMA, 2010).

Es posible integrar las dimensiones: ambiental, social y económica, en el concepto de EE, con un enfoque amplio del concepto, que va más allá de un nivel micro o individual, y se acerca a una esfera regional (Mickwitz, Melanen, Rosenström y Seppälä, 2006) mediante tres objetivos generales que se señalan en la Tabla 3.1, para incrementar el valor a través de áreas como la reingeniería de procesos, la cooperación con otras empresas, el rediseño de productos o servicios y rehacer la demanda para satisfacer a los clientes (WBSCD, 2000a).

Tabla 3. 1 Objetivos generales de Ecoeficiencia.

Objetivo	Acciones
<i>Reducir el consumo de recursos.</i>	<i>Incluye minimizar el consumo de agua e Incrementar el reciclaje.</i>
<i>Reducir el impacto ambiental</i>	<i>Incluye minimizar vertimientos y disposición de residuos, también incluye el consumo racional de los recursos naturales, en este caso el hídrico.</i>
<i>Suministrar más valor con el producto o servicio.</i>	<i>Brindar más beneficios a los usuarios, por medio de la funcionalidad, la flexibilidad y la modularidad del producto o servicio, de tal forma que el usuario satisfaga sus necesidades, con un menor consumo de materiales Y recursos.</i>

Elaboración propia a partir de Ecoeficiencia: Creando más valor con menos impacto. (WBSCD, 2000a)

En el presente estudio se adoptará la definición de la Ecoeficiencia establecida en la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León, reformada el 13 de mayo de 2015, que en su artículo 3 define como:

“Forma de cumplimiento ambiental que se sustenta en mecanismos proactivos en la aplicación de tecnologías ambientalmente compatibles para la producción de bienes o servicios, que redunden tanto en el ahorro económico o energético, como en la preservación y protección al ambiente, atendiendo a la premisa del desarrollo sustentable” (LA, 2015).

A su vez, se considera que la EE es una condición necesaria pero no suficiente para lograr la sostenibilidad, ya que la proactividad medioambiental también tiene una gran influencia en la disminución de las presiones ambientales, como en el ámbito de los recursos hídricos y emisión de residuos (Barba y Atienza, 2016).

3.2 Método para implementar y evaluar la Ecoeficiencia en un SAART.

Durante los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para implementar el concepto de EE, así como métodos para evaluar mejoras e impactos, al considerarla como

una estrategia de manejo que combina el desempeño ambiental y económico (Holliday, Schmidheiny & Watts, 2002); sin embargo, no está claro cuándo usar qué herramientas en la práctica, ya que una empresa puede aumentar significativamente sus posibilidades de adoptar con éxito el enfoque de Ecoeficiencia si coopera con otros socios (Cramer, 1999).

La implantación de la Ecoeficiencia y los instrumentos para medir los resultados han variado ampliamente; por ello, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD, 2006a) ha optado por un marco suficientemente flexible, que se limita a un conjunto de principios e indicadores generales muy básicos, sin imponer esquemas rígidos ni exigentes, y que está integrado por estos preceptos:

1. Reducción de intensidad del material utilizado en la producción de bienes y servicios.
2. Reducción de intensidad de la energía utilizada en la producción de bienes y servicios.
3. Reducción en la generación y dispersión de cualquier material tóxico.
4. Apoyo al reciclaje.
5. Maximización del uso sostenible de los recursos naturales.
6. Extensión de la durabilidad de los productos.
7. Aumento del nivel de calidad de bienes y servicios.

La EE puede entenderse como una filosofía económica y ambientalmente eficiente, así como una “herramienta de gestión”, al aplicar sistemáticamente los siete elementos (WBSCD, 2006). Aunado a estos 7 elementos, al existir una fuerte relación entre el concepto de Ecoeficiencia y el desarrollo de infraestructura urbana, ésta puede ser resumida bajo el concepto de “gestión urbana sostenible” (Cerdeira et al 2011), cuyos preceptos complementarios para el contexto de América Latina son:

1. Intervenciones que articulan distintos tipos de recursos (humanos, financieros, organizacionales, políticos y naturales).
2. Orientación al logro simultáneo de habitabilidad y funcionalidad.
3. Consideración de las condiciones de productividad y competitividad urbana
4. Reactivación de una dinámica urbana en función de la satisfacción de necesidades físicas e intangibles.

Los preceptos del modelo se logran manteniendo siempre la vista en los aspectos ambientales, socioculturales y económicos involucrados que coadyuva a un desarrollo urbano sostenible.

En la implementación de los preceptos del modelo EE, las acciones a contemplarse (Bao, 2005), deben incluir el reúso, el reciclado, y el vertido, relacionados con los recursos hídricos, por lo que al adoptar y adaptar dichos preceptos de acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo, implica beneficios en aspectos como: la mejora de la productividad, la disminución de los riesgos públicos y ambientales, la reducción de costos por control de la contaminación y una mejor imagen pública con una mayor confianza del consumidor (Leal, 2005).

Los métodos más conocidos para la planeación y el desarrollo de SAART ante el escaso grado de documentación de los mismos, son los que establece el Banco Mundial, de carácter multidisciplinario dirigidos básicamente a países en desarrollo (Kalbermatten, Gunnerson, & Mara, 1982); los definidos por Asano y su equipo bajo perspectivas ingenieriles enfocadas a países desarrollados (Asano, 1991; Asano, 2002; Asano, & Levine, 1996); y los de Standish (1997), quién aunado a la ingeniería, añadió aspectos sociales, legales y económicos y, finalmente, el enfoque recomendado por el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible, dentro de la guía de negocios para la gestión circular del agua (WBSCD, 2017); que se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Métodos de planificación y desarrollo de proyectos de reúso hídrico.

<p>Banco Mundial <i>(Colaboradores Khouri, 1994, Marinio y Boland 1999, Kalbermatten, 1982)</i></p>	<p>Takashi Asano <i>Co-autores (Mills y Levine)</i></p>
<p><i>Fase 1.- El Ingeniero Sanitario examina condiciones físicas y ambientales; el Economista recopila información macroeconómica, el Sociólogo hace consulta en la sociedad y la Comunidad asesora sobre prácticas.</i></p> <p><i>Fase 2.- El Ingeniero Sanitario identifica costes técnicos y de salud de alternativas factibles; el Economista identifica limitantes económicas, el Sociólogo hace listado de alternativas factibles por la sociedad e instituciones.</i></p> <p><i>Fase 3.- El Economista prepara un listado de alternativas factibles, el Sociólogo identifica la contribución de la comunidad y capacidad de endeudamiento y la Comunidad asesora.</i></p> <p><i>Fase 4.- El Ingeniero Sanitario prepara un diseño final y estimación de costes de alternativas viables; el Sociólogo concerta el plan con la participación de la comunidad y la Comunidad asesora.</i></p> <p><i>Fase 5.-El Economista prepara los costos financieros de las alternativas viables.</i></p> <p><i>Fase 6.-La Comunidad selecciona la alternativa.</i></p>	<p><i>Planificación Conceptual, de Viabilidad y a Detalle.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1.-Características de zona de estudio.</i> <i>2.-Características y necesidades del suministro de agua de primer uso.</i> <i>3.-Características y necesidades del suministro de ART.</i> <i>4.-Requerimientos de tratamiento para vertido y reúso específico.</i> <i>5.-Clientes potenciales de reúso de efluentes tratados.</i> <i>6.-Análisis de alternativas de proyecto y viabilidad.</i> <i>7.-Plan recomendado en base a propuestas y criterios de diseño.</i> <i>8.-Plan de Construcción y Financiamiento.</i>

<i>Perri Standish</i>	<i>Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBSCD)</i>
<p>1.-Mercado del ART.</p> <p>2.-Aceptación social del programa de reúso.</p> <p>3.-Calidad del ART requerida.</p> <p>4.-Restricciones legales y ambientales.</p> <p>5.-Derechos jurídicos del recurso y administración del sistema.</p> <p>6.-Análisis económico y financiero.</p>	<p><i>Lista de verificación 1.-Comprobación de Factores Clave de Éxito para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua: Ayuda a las empresas a identificar si existen condiciones internas propicias para el proyecto.</i></p> <p><i>Lista de verificación 2.-Verificación reglamentaria y de calidad para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua: Ayuda a identificar las regulaciones y sistemas internos que favorecen el proyecto.</i></p> <p><i>Lista de verificación 3.-Lista de verificación de recursos para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</i></p> <p><i>Lista de Verificación 4.-Control de sensibilización para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</i></p> <p><i>Lista de verificación 5.-Verificación del diálogo para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</i></p>

Elaboración propia en base a (Standish, 1997), (Asano, 1991), (Kalbermatten, 1982) y (WBSCD, 2017).

La Organización Internacional de Estandarización (ISO), mediante la Serie de Normas ISO 24500, desarrolladas por el Comité Técnico ISO/TC 224 que se indican en la Tabla 3.3, ofrece un aporte de la normalización hacia los problemas mundiales del agua y el saneamiento, aplicable a todo tipo de empresas y sistemas de agua, donde establece un método y propone indicadores para evaluar la Componente de Desarrollo Sostenible de los Servicios de Agua Potable y Agua Residual relacionados con los preceptos de la Ecoeficiencia, y recomienda que la evaluación del progreso hacia el desarrollo sostenible esté basado en un número limitado de indicadores o combinaciones de indicadores para proveer una señal más clara de progreso, considerando lo siguiente:

- **El Componente ambiental o ecológico** del desarrollo sostenible está relacionado con el capital natural, pero también con las infraestructuras como capital específico de los cuales depende la sociedad y la economía; donde están involucrados el agua potable y la calidad del agua residual, pero también el estado del sistema de redes y las necesidades de las futuras generaciones, así como la protección de los recursos hídricos y su uso racional.
- **El Componente económico** del desarrollo sostenible trata con la viabilidad de las soluciones económicas, para asegurar el acceso al agua desde un punto de vista social y ambiental.
- **El componente social** del desarrollo sostenible se puede ver como un principio que implica que la provisión de los servicios de agua potable y agua residual tienen que pensarse en vista de la equidad social y el desarrollo.

Tabla 3. 3 Normas ISO 24500 asociadas a componentes de sostenibilidad hídrica.

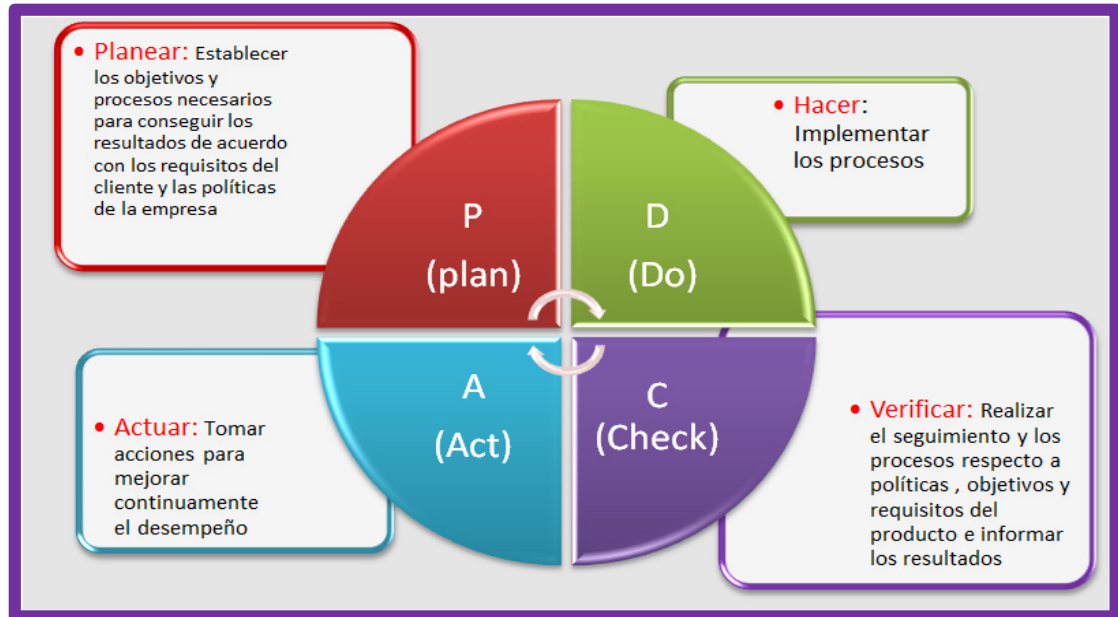
ISO 24510:2007: Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual - <i>Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios.</i> (NMX-AA-148-SCFI-2008)	ISO 24511:2007: Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - <i>Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual y para la evaluación de los servicios de agua residual.</i> (NMX-AA-149/1-SCFI-2008)	ISO 24512:2007 Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - <i>Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable.</i> (NMX-AA-149/2-SCFI-2008)
<i>Capítulo 1.- Objeto y campo de aplicación.</i>		
<i>Capítulo 2.-Términos y definiciones.</i>		
<i>Capítulo 3.-Elementos del servicio relacionados con los usuarios.</i>	<i>Capítulo 3.-Componentes de los sistemas de agua residual. Capítulo 5.-Componentes de gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual.</i>	<i>Capítulo 3.-Componentes de los sistemas de abastecimiento de agua potable. Capítulo 5.-Componentes de gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable.</i>
<i>Capítulo 4.-Objetivos para el servicio en relación con las necesidades y expectativas de los usuarios.</i>	<i>Capítulo 4.-Objetivos de la entidad prestadora de servicios de agua residual.</i>	<i>Capítulo 4.-Objetivos de la entidad prestadora de servicios de agua potable.</i>
<i>Capítulo 5.- Gestión de recursos (5.3) y Gestión de infraestructura (5.4).</i>		
<i>Capítulo 5.- Directrices para satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios.</i>	<i>Capítulo 6.- Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual.</i>	<i>Capítulo 6.- Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable.</i>
<i>Capítulo 6.- Criterios de evaluación para el servicio a los usuarios. Capítulo 7.- Evaluación de los servicios de agua. Capítulo 8.- Indicadores de desempeño.</i>	<i>Capítulo 7.- Evaluación de los servicios de agua. Capítulo 8.- Indicadores de desempeño.</i>	

Elaboración Propia adaptada a partir de Normas NMX-AA-148-SCFI-2008, (SE, 2009a); NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) y NMX-AA-149/1-SCFI-2008 ((SE, 2009c).

La NMX-AA-149/1-SCFI-2008 recomienda realizar la gestión de los procesos de y dentro de las empresas de agua residual, utilizando el método “planificar-hacer-verificar-actuar” (SE, 2009b), mejor conocido como Ciclo de Deming o de Mejora Continua, que es base para diferentes métodos de gestión en el nivel internacional y se muestra en la Figura 3.1, que se detalla conforme a:

1. **Planificar:** establecer los objetivos y procesos necesarios generar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente, las políticas de la organización y los requisitos legales.
2. **Hacer:** implementar los procesos.
3. **Verificar:** seguir y medir los procesos y productos comparándolos con las políticas, los objetivos y los requisitos aplicables al producto e informar los resultados.
4. **Actuar:** tomar acciones para mejorar de forma continua el desempeño de los procesos.

Figura 3.1 Ciclo de Deming PHVA.



Elaboración adaptada a partir de Normas NMX-AA-148-SCFI-2008, (SE, 2009a); NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) y NMX-AA-149/1-SCFI-2008 ((SE, 2009c).

El Ministerio del Ambiente de Perú, (MINAM, 2009) propone iniciar el Sistema de Ecoeficiencia con un diagnóstico inicial de tipo cualitativo para luego evaluar los aspectos ambientales y conocer las mejores prácticas para internalizar la EE en la gestión empresarial. También establece en la Guía de Ecoeficiencia para Instituciones del Sector Público, alineada a la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, un método de implementación de 4 fases: 1. conformación de un comité. 2. diagnóstico mediante el desarrollo de una línea base en la que se identifique el consumo general de recursos y la identificación de oportunidades de mejora en el uso racional de los mismos. 3. determinación de planes de Ecoeficiencia viables a implementar. 4. seguimiento y monitoreo de los planes y medidas adoptadas (MINAM, 2016).

El Instituto Geológico y Minero de España, señala en general, que la planificación se lleva a cabo en tres fases sucesivas: 1) Nivel conceptual, 2) Investigación preliminar de viabilidad y 3) Planificación de las instalaciones. Los planteamientos están cada vez más condicionados por dos factores: los niveles crecientes de calidad exigidos para el vertido y la limitada disponibilidad de recursos de primera utilización, para hacer frente a demandas crecientes (IGME, 2011).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (ECLAC) establece las directrices para el desarrollo de infraestructuras Ecoeficientes y socialmente inclusivas, donde adopta como método para su implementación, un ciclo estratégico de cuatro etapas esenciales

(ESCAP, 2011), el cual es similar al de la metodología “planificar-hacer-verificar-actuar” señalada anteriormente y que se describen en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Ciclo de planificación y desarrollo de infraestructuras Ecoeficientes.

ETAPA A: ¿Dónde estamos ahora?	ETAPA B: ¿A dónde queremos ir?
<p><i>Paso 1.- COMENZAR: Obtenga un compromiso organizado y seguro, forme un comité ejecutivo y un equipo, evaluar capacidades, planear el proceso.</i></p> <p><i>Paso 2.- IDENTIFICAR A LAS PARTES INTERESADAS: Identificar a las partes interesadas, establecer el grupo de partes interesadas, garantizar una comunicación fluida, elaborar un plan de participación.</i></p> <p><i>Paso 3.- ANALIZAR Y EVALUAR: Crear un perfil de la ciudad, identificar marcos legales y conductores de infraestructura desarrollo, realización y evaluación de la Ecoeficiencia.</i></p>	<p><i>Paso 4.- ESTABLECER UNA VISIÓN: Revise los retos principales, recopile ideas, formule una visión.</i></p> <p><i>Paso 5.- FIJE LOS OBJETIVOS: Identificar y organizar las condiciones presentes, replantear la condición presente como objetivos a alcanzar, asegurarse de que son EEs, seleccionar indicadores de medición.</i></p>
ETAPA D: ¿Estamos llegando allí?	ETAPA C: ¿Cómo llegamos allí?
<p><i>Paso 9.- MONITOREAR Y EVALUAR: Preparar un marco de monitoreo y evaluación y un plan de trabajo, decidir a quién involucrar, cuándo y cómo documentar e informar, evaluar los resultados en base al grado de cumplimiento de los objetivos establecidos.</i></p> <p><i>Paso 10.- AJUSTE Y MODIFIQUE: Dada la rápida evolución de la información, conocimientos y la realidad de las ciudades y procesos, las etapas A y B, deben revisarse y actualizarse periódicamente en función del grado de cumplimiento de los objetivos, el medio ambiente y la infraestructura, e incorporarse a los planes de desarrollo de la infraestructura y así sucesivamente.</i></p>	<p><i>Paso 6.- IDENTIFICAR ACCIONES Y ESTRATEGIAS: Genere ideas de acción para lograr sus objetivos, organizarlas, proyectar evaluar y clasificar las acciones, desarrollar estrategias.</i></p> <p><i>Paso 7.-SELECCIONE ACCIONES: Evaluar las consecuencias de las acciones, priorizar las mejores acciones y estrategias, evaluar las oportunidades de integración y perfeccionar las acciones y estrategias.</i></p> <p><i>Paso 8.- ACCIONES DE IMPLEMENTACIÓN: Identificar y abordar las brechas institucionales y de gobernabilidad, identificar las actividades principales, incorporar las acciones en los planes, programas y procesos establecidos, elaborar un plan de acción.</i></p>

Elaboración Propia a partir de las Directrices para el desarrollo de infraestructuras ecoeficientes y socialmente inclusivas (ESCAP, 2011).

El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible recomienda realizar, como parte de la planeación, una evaluación de la aplicabilidad mediante listas de verificación que se muestran en la Tabla 3.5, con la finalidad de identificar si existen condiciones favorables para un proyecto para el reúso del agua (WBCSD, 2017).

Tabla 3. 5 Listas de verificación de aplicabilidad para proyectos de reúso hídrico.

<p>Lista de verificación 1.- Comprobación de Factores Clave de Éxito para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</p>	<p>Lista de verificación 2.- Verificación reglamentaria y de calidad para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</p>
<p>1.-Cultura y liderazgo de la empresa: Apoyo de la alta Gerencia ganado.</p> <p>2.-Enfoque de proyecto integrado: Oportunidades para reutilizar o reciclar el agua y asegurar la sostenibilidad Integrado en las primeras fases del proyecto evaluado.</p> <p>3.-Cambio de mentalidad: La preocupación por el costo, el valor y los recursos humanos sustituidos por el conocimiento del valor potencial, los ahorros y los ingresos</p> <p>4.-Herramientas y soporte: Datos, tales como balance de agua y riesgos, proporcionados por herramientas apropiadas</p> <p>5.-Normas y puntos de referencia: Mejoras operacionales requeridas para el uso eficiente del agua en el mantenimiento de equipos de control, estrategias de control y para compartir y transferir conocimientos entre operaciones establecidas en normas y puntos de referencia.</p> <p>6.-Buen gobierno de la cuenca: Responsabilidades de los usuarios para el suministro contrato de interacción</p>	<p>1.-Sistema regulatorio: Considera el marco regulatorio existente, requisitos de calidad aptos para el propósito y riesgo regulatorio para los efluentes concentrados debido a proyectos de reutilización o reciclaje de agua determinados.</p> <p>2.-Marca mejorada: El potencial para la promoción de la capacidad de la empresa y la inversión en la protección de los suministros de agua, la re-marca de la empresa, por ejemplo, como un pionero en la reutilización del agua y los beneficios sociales y regulatorios destacó.</p> <p>3.-Tecnología y alternativas: Se consideran las tecnologías existentes y usos alternativos potenciales de los desechos (por ejemplo, utilización eficiente del agua) y aguas residuales (por ejemplo, descarga cero).</p>
<p>Lista de verificación 3.- Lista de verificación de recursos para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</p>	<p>Lista de Verificación 4.- Control de sensibilización para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.</p>
<p>1.-Apoyo de la Dirección: Apoyo de la gestión en su lugar.</p> <p>2.-Enfoque de proyecto integrado: Oportunidades para integrar la reutilización o reciclaje del agua y la sostenibilidad en las primeras fases del proyecto evaluado</p> <p>3.-Retorno de la inversión: Plan de negocios que muestra el verdadero costo del agua, beneficios no financieros, agua asociada. Los riesgos empresariales y el reconocimiento y cálculo de los posibles fondos y donaciones preparados.</p> <p>4.-Infraestructura de sostenibilidad: Recursos potenciales y cultura de la empresa para iniciar o fortalecer Infraestructura para apoyar la reutilización o reciclaje de agua.</p> <p>5.-Sistema de mejora operacional: Sistema para mejorar las operaciones para lograr un uso eficiente del agua Mantenimiento, monitoreo, controles, y compartir y transferir conocimientos entre operaciones similares en su lugar.</p> <p>6.-Programa de monitoreo: Programa de monitoreo de recolección de insumos y datos, y evaluación de resultados y progreso en la reutilización o reciclaje de agua en su lugar.</p>	<p>1.-Base de datos de agua: Sistema de recolección y monitoreo de datos para facilitar el análisis confiable de los problemas hídricos creados e implementado</p> <p>2.-Herramientas: Los datos sobre cuestiones relacionadas con el agua elaborados con instrumentos apropiados constituyen una base para la difusión de experiencias</p> <p>3.-Aumento de la conciencia: Toda la cadena de proceso - el personal clave del sitio desde el liderazgo a los operadores - comparte una percepción común del valor del agua y prioriza la reutilización y el reciclaje del agua.</p> <p>4.-Reconocimiento del estrés hídrico: Los riesgos operacionales del estrés hídrico se reconocen y se realizan evaluando los impactos del estrés hídrico sobre las operaciones de la empresa y participando en plataformas de agua existentes.</p>

Lista de verificación 5.- Verificación del diálogo para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua.
<p>1.-Participación en plataforma compartida de usuarios de agua: Las interacciones con otros usuarios de agua en la cuenca proporcionan información sobre el balance general del agua, el impacto de la descarga de agua de la compañía y la posición de la compañía en la escala de uso del agua en la cuenca.</p> <p>2.-Conexiones con las autoridades locales del agua: El diálogo con la junta de agua, las compañías de agua y las autoridades ambientales está ayudando a facilitar la reutilización o reciclaje del agua y está animando el interés en los recursos y el conocimiento que la compañía tiene sobre el tratamiento del agua.</p>

Elaboración Propia a partir de las Directrices para los negocios a medida: Enfoques para reducir el uso del agua, reutilización y reciclaje de agua (WBSCD, 2017)

Mediante un enfoque específico sobre producción y uso de bienes y servicios a fin de alcanzar los objetivos de aporte a la sostenibilidad hídrica determinados a partir de la hipótesis inicial considerando aspectos de productividad herramientas para la competitividad, donde la NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) establece que se puede hacer una distinción entre aspectos cuantitativos y cualitativos de la gestión del agua para la promoción del desarrollo hídrico sostenible, al considerar las prioridades estratégicas, tales como las que se establecen en la Tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Aspectos cuantitativos y cualitativos de la gestión del agua.

Aspectos Cualitativos	Aspectos Cuantitativos
<i>Uso eficiente del agua</i>	<i>La prevención de la contaminación</i>
<i>Conservación y la reutilización</i>	<i>La separación (de flujos contaminados de flujos no contaminados)</i>
<i>La descarga.</i>	<i>La remoción de contaminantes</i>

Elaboración Propia a partir de NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b)

Sin embargo, capturar la dinámica del desarrollo hídrico sostenible y evaluarlo en términos de indicadores de medición que pudieran ser interpretados sin ambigüedades y comunicarse fácilmente a los formuladores de políticas públicas se considera una tarea difícil (ESCAP, 2009b).

3.3 Evaluación de la Ecoeficiencia.

Como instrumento de medición, la Ecoeficiencia puede reflejar cuánto impacto ambiental fue necesario para generar valor agregado (Schaltegger, Burrit y Peterson, 2003) mediante Indicadores Consumo y Producción Sostenible, que cuales permiten medir los avances en crecimiento y bienestar, considerando los componentes de carácter social, ambiental y económico, para obtener una visión más amplia y completa del desarrollo a través del tiempo, enfocada hacia patrones de producción y consumo más sostenibles mediante mejores prácticas de gestión de los recursos, como los hídricos (PNUMA, 2010).

La aplicación de Indicadores de Ecoeficiencia (IEE) en los sectores empresariales generalmente se basa en la relación entre el valor del producto o servicio y el impacto ambiental, y la mayoría se centran en el consumo de energía, de materiales, de agua y la emisión de gases de efecto invernadero, agua residual y emisiones contaminantes (ESCAP, 2009b).

El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible estableció indicadores Ecoeficientes válidos para empresas de cualquier índole, según los principios formados en la Cumbre de Río sobre políticas ambientales (Leal, 2005). Estos fueron catalogados como *“indicadores generales”*, que se caracterizan principalmente por ser relativamente universales en lo referido a la protección ambiental y relacionarse con los problemas en este ámbito aplicables a las empresas a nivel mundial. La segunda clasificación está referida a *“indicadores específicos”* que pueden ser creados de acuerdo con las necesidades puntuales de cada empresa o proceso de la misma.

Para evaluar el grado de desempeño medioambiental se utilizan sistemas de indicadores que son expresiones específicas que proporcionan información sobre una organización o procesos (Silva y Medeiros, 2005), que permiten validar las prácticas organizacionales desarrolladas para minimizar los impactos adversos resultantes de sus actividades en los recursos naturales, sin los cuales ninguna organización puede evaluar y gestionar su desempeño ambiental (Mickwitz et al., 2006).

Considerando esto, el nivel de EE de un proceso productivo puede estimarse por medio del uso de indicadores que conjugan el valor económico de un producto y el impacto ambiental que genera, pudiendo utilizar parámetros sencillos, como el PIB y la emisiones de CO₂, en un nivel macro o micro, o el volumen de producción por unidad de residuos, conforme a lo que señalan Picazo-Tadeo, Beltrán-Esteve y Gómez-Limón (2011), quienes señalan, al igual que la Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacífico, (ESCAP, 2009b), que el concepto se formaliza con la ecuación que se señala en la Figura 3.2:

Figura 3. 2 Fórmula de Ecoeficiencia del producto o servicio.

▲ Incrementar la Calidad
Eco-eficiencia (EE) = $\frac{\text{Valor Económico Agregado}}{\text{Presión o Impacto Ambiental}}$
▼ Reducción de los Impactos

Por lo anterior, el nivel de EE puede llegar a ser estimado a partir de relaciones entre los volúmenes o valor económico de recursos o insumos utilizados en un proceso, respecto del producto total o su valor, bajo el prisma de la presión o impacto que se produzca sobre el medioambiente (Gómez-Limón, Picazo-Tadeo, Reig-Martínez, 2012), que es aplicable a la realización o mejora de los procesos productivos o infraestructuras relacionadas bajo el concepto de Ecoeficiencia, que implica la obtención de resultados económicos positivos por medio de la minimización del uso de recursos naturales y con el menor impacto ambiental posible.

De esta manera, y conforme a lo señalado por Fürst (2002), una forma de estimar la Ecoeficiencia es a través del indicador de “*productividad de recurso*”, compuesto por una relación entre el volumen o valor del producto total generado en un proceso productivo (como numerador) y el volumen del recurso natural o insumo utilizado en dicho proceso (como denominador), considerando que ante un incremento de este indicador aumenta la eficiencia, reduciendo la cantidad de recursos o insumos utilizada para producir un determinado producto, conforme a la relación que se indica en la Tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Productividad del Recurso.

(Y/C) ; (R/C)
<p><i>Productividad del Recurso:</i></p> <p><i>Y= Volumen o valor del producto</i></p> <p><i>R= Recursos naturales consumidos (agua, energía, materiales)</i></p> <p><i>C= Carga de contaminante generada</i></p>

Fuente: Fürst (2002)

Una segunda forma es a través de un indicador de “*intensidad de uso del recurso*”, calculado invirtiendo los componentes anteriores, resultando en una medición del impacto ambiental generado por el proceso, siendo una disminución de este indicador una expresión de un patrón de producción menos incidente sobre el medioambiente señalado en la Tabla 3.8 (Fürst, 2002).

Tabla 3. 8 Intensidad de Uso del Recurso.

(C/Y) ; (C/R)
<p><i>Intensidad de Uso del Recurso:</i></p> <p><i>Y= Volumen o valor del producto</i></p> <p><i>R= Recursos naturales consumidos (agua, energía, materiales)</i></p> <p><i>C= Carga de contaminante generada</i></p>

Fuente: Fürst (2002)

Para la Organización Internacional de Estandarización (ISO), la evaluación de Ecoeficiencia es una herramienta de gestión ambiental cuantitativa que permite el estudio de los impactos medioambientales del ciclo de vida de un producto o servicio conjuntamente con el sistema de valor creado, para la cual estableció un método que forma parte de un Sistema de Gestión Ambiental robusto de la serie de Normas ISO 14000, generadas por el Comité ISO TC/207 de Gestión Ambiental, mediante la Norma ISO 14045-2012, en su versión Mexicana NMX-SAA-14045-IMNC-2016, *Gestión Ambiental, Evaluación de la Ecoeficiencia del sistema del producto. Principios Requisitos y Directrices*; sin embargo, no establece criterios específicos al sector hídrico y se enfoca en un Sistema de Gestión Ambiental implementado (SE, 2016).

El Consejo Empresarial Mundial por el Desarrollo Sostenible ha desarrollado una estructura general de evaluación para la Ecoeficiencia, basado en la norma ISO 14045, como se aprecia en la Tabla 3.9, determinando tres niveles de organización de la información de Ecoeficiencia (WBCSD, 2006b).

1. *Categorías*: son áreas más generales de influencia ambiental y valor empresarial. Cada una tiene un número de aspectos, que son generalmente tipos de información relacionadas con una categoría específica.
2. *Aspectos*: describen qué es lo que debe ser medido.
3. *Indicadores*: son mediciones específicas de un aspecto individual que puede usarse para reportar o demostrar un comportamiento. Un aspecto dado puede tener varios indicadores.

Tabla 3. 9 Relación de categorías de la Ecoeficiencia y sus aspectos generales.

1.-Valor de producto o servicio	2.-Influencia medioambiental en la creación de un producto o servicio.	3.-Influencia medioambiental en el uso de un producto o servicio.
<i>Volumen/masa</i>	<i>Consumo de energía</i>	<i>Características del producto o servicio</i>
<i>Monetario</i>	<i>Consumo de materiales</i>	<i>Desechos de empaque</i>
<i>Función</i>	<i>Consumo de recursos naturales</i>	<i>Emisiones durante la deposición</i>
	<i>Eventos no intencionados</i>	
	<i>Salidas no productivas</i>	

Fuente:(WBCSD, 2006).

Aunado a los enfoques anteriores, el Método Sistemático basado en el sistema de autocomprobación es más eficiente para medir el desempeño ambiental de la empresa, el cual se aplica al análisis de eficiencia ambiental del sector alimentario, y mitiga eficientemente los problemas ambientales y optimiza los costos asociados (Atienza et al, 2014).

El proyecto de investigación en proceso, denominado Eco-water, financiado por la Unión Europea, tiene como objetivo abordar la brecha existente entre los indicadores de Ecoeficiencia mediante la adopción de un enfoque de sistemas para desarrollar indicadores de ecoeficiencia, utilizando sistemas de servicio de agua como ejemplos de aplicación de casos diversos (Dimova et al, 2012).

En virtud de que aún no se tienen definidos modelos o métodos y los indicadores estándar para las mediciones de los valores económicos y ambientales (Reijnders, 1998), la selección de indicadores para la evaluación de la EE se determina en gran medida por el propósito, en un conjunto de indicadores estructurado principalmente para captar el uso de los recursos, en términos de producción y consumo, y sus correspondientes impactos ambientales que, según su alcance, pueden ser aplicables a sectores específicos como servicios, agricultura, o toda la economía, más nunca se pretende que sea definitivo o exhaustivo, sino más bien flexible y adaptable y con opción de elegir e incorporar otros indicadores, de acuerdo con su relevancia ambiental, la estructura de la economía, la disponibilidad de datos y la coherencia con sus estrategias de desarrollo sostenible (ESCAP, 2009b).

3.4 Indicadores de Ecoeficiencia propuestos.

En la gestión integral de recursos hídricos mediante un sistema enfocado a la sostenibilidad, ...“se debe preservar el entorno y disminuir la presión sobre los ecosistemas a través de reducir la extracción y disminuir la carga contaminante vertida en la cuenca”. (Rueda, 1999, p.23).

Así mismo, como se considera útil un conjunto reducido de indicadores para evaluar la Ecoeficiencia, ya que un esquema extenso de mediciones afectaría la claridad y la comprensión, en especial, para actores externos; tanto a través del tiempo como entre sectores y empresas (Leal, 2005), por lo que en la Tabla 3.10 se muestra la propuesta de indicadores basados en la recomendación del WBSCD (Verfaillie, 2000).

Tabla 3. 10 Serie de Indicadores recomendados por la WBSCD.

Indicador	Unidad	Método de medición	Fuentes de información
<i>Consumo de agua: Suma de toda el agua fresca comprada de la red pública, u obtenida de fuentes superficiales o subterráneas, incluyendo agua para refrigeración.</i>	<i>En metros cúbicos.</i>	<i>Método específico de la compañía.</i>	<i>Informes de compras. Informes de gestión. Informes de costos.</i>
<i>Ingresos netos.</i>	<i>En la moneda usual de la compañía.</i>	<i>Ventas netas menos todos los gastos para el período. Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (GAAP).</i>	<i>Informes de costos, producción o ventas. Informes financieros anuales.</i>
<i>Cantidad: Medición física de los productos o servicios producidos, entregados o vendidos a los clientes.</i>	<i>La adecuada para ese negocio particular, por ejemplo número o masa.</i>	<i>Método específico usado por la compañía para medir la cantidad.</i>	<i>Informes de costos, producción o ventas. Informes financieros anuales.</i>
<i>Ventas netas: Total de ventas registradas menos descuentos y utilidades.</i>	<i>En la moneda usual de la compañía</i>	<i>Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (GAAP).</i>	<i>Informes financieros anuales.</i>

Fuente: WBSCD (Verfaillie, 2000, p.p. 19-21).

Para evaluar la Componente de Desarrollo Sostenible de los Servicios de Agua Potable y Agua Residual, relacionada con los preceptos de la Ecoeficiencia a implementar en un SAART, es factible proponer los recomendados por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) en la Serie de Normas ISO 24500, desarrollada por el Comité Técnico ISO/TC 224, que se indican en la Tabla 3.11, al ser aplicables a todo tipo de empresas y sistemas de agua, considerando los indicadores y las fórmulas seleccionados y propuestos conforme a lo siguiente:

Tabla 3. 11 Indicadores de Normas ISO-24500 asociados a sostenibilidad hídrica.

Norma	Componente	Indicador recomendado	Definición	Regla de Procesamiento o Formula					
ISO 24510:2007: Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual - Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios. (NMX-AA-148-SCFI-2008)	Ambiental	Capacidad de tratamiento de agua residual (%).	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual con relación al total de agua residual generada.	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual (m3) / Volumen total del agua residual generada en el área de responsabilidad del servicio (m3) x 100.					
	Económico	Exactitud en los registros de pago.	Cantidad de consultas de los clientes sobre registros y pagos realizados por cliente por año.	Consultas recibidas en un período calendario por el operador u organismo responsable sobre pagos realizados en un año (No)/Cantidad de clientes (No).					
	Social	Presurización de la red de agua	Porcentaje de la cantidad de horas en un año en las que la red de agua está presurizada.	(Horas en las que la red de agua está presurizada durante el año (Cant.) / 24 / 365 x 100.					
ISO 24511:2007: Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual y para la evaluación de los servicios de agua residual. (NMX-AA-149/1-SCFI-2008)	Ambiental	Reutilización de agua residual (%)	Porcentaje de ART que se reutiliza.	Volumen de ART rehusada/volumen de ART por la empresa x 100, durante el período de evaluación.					
	Económico	Ingresos unitarios por Reúso de ART.	Monto recaudado por la venta de ART.	(Volumen de ART suministrada a usuarios) (Precio tarifario por m ³) durante el período de evaluación.					
	Social	Calidad del efluente dispuesto o reutilizado.	Análisis comparativo del cumplimiento de parámetros de la Norma NOM-ECOL-003-1997	<table border="1"> <tr> <td>Coliformes Fecales NMP100/ml</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>15</td> </tr> </table>	Coliformes Fecales NMP100/ml	1000	Huevos de Helminto h/l	5	Grasas y Aceites Mg/l
Coliformes Fecales NMP100/ml	1000								
Huevos de Helminto h/l	5								
Grasas y Aceites Mg/l	15								

				<table border="1"> <tr> <td>DBO5 mg/l</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>30</td> </tr> </table> <p>Límites máximos permisibles de contaminantes</p>	DBO5 mg/l	30	SST mg/l	30
DBO5 mg/l	30							
SST mg/l	30							
<p>ISO 24512:2007 Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable. (NMX-AA-149/2-SCFI-2008)</p>	Ambiental	<p>Minimizar las extracciones de los recursos hídricos naturales mediante Agua abastecida reutilizada.</p>	<p>Porcentaje de agua que entra al sistema que se reutiliza.</p>	<p>Agua abastecida reutilizada durante el período de evaluación (m3) / volumen de entrada al sistema durante el período de evaluación (m3) x 100, (Período Anual preferente)</p>				
	Económico	<p>Eficiencia Física y Comercial del Sistema de ART</p>	<p>La eficiencia física ($\eta_{física}$) se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento y se calcula en porcentaje. La eficiencia comercial ($\eta_{comercial}$) se refiere a la relación de los volúmenes facturados respecto a los cobrados y se calcula en porcentaje.</p>	<p>$\eta_{física} = (\text{Vol Consumido medido} / \text{Vol Suministrado}) * 100$</p> <p>$\eta_{comercial} = (\text{Vol Consumido medido} / \text{Vol cobrado}) * 100$</p>				
	Social	<p>Cumplir con las expectativas de los usuarios.</p>	<p>Porcentaje de cumplimiento de la demanda de agua contratada en el sistema.</p>	<p>Caudal Contratado de ART (m3/seg) / Caudal de ART disponible para reúso (m3/seg) x 100, (Período de evaluación)</p>				

Elaboración Propia adaptada a partir de Normas NMX-AA-148-SCFI-2008, (SE, 2009a); de NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) y NMX-AA-149/1-SCFI-2008 ((SE, 2009c).

De esta forma se logra adaptar un sistema funcional, con base en los preceptos de la Ecoeficiencia, para evaluar desde la viabilidad de un proyecto hasta el desarrollo, los procesos y la operación de un SAART, su sostenibilidad y la de los recursos hídricos, teniendo en cuenta los aspectos ambientales, económicos y sociales que le atañen, con base en normas asociadas, con el beneficio que conlleva a los organismos operadores de

agua, al ser una fuente de ingresos alternos y no sólo de costos internos por el tratamiento y la infraestructura. El ingreso se obtiene multiplicando el precio de venta del ART, que el organismo establezca con base en un estudio, por el volumen del efluente tratado, suministrado en función del destino de reúso.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN

4.1 Análisis hídrico nacional y regional.

En este capítulo se describe el área del caso de estudio, que se centra primeramente (4.2) en los antecedentes y la optimización de la infraestructura de aguas urbanas para el reúso de efluentes tratados, mediante la implementación del método de la Ecoeficiencia, en el inicial Sistema de Abastecimiento de ART P'tar Santiago-Las Misiones, como objetivo principal que coadyuve para el logro de la sostenibilidad hídrica en el Municipio de Santiago Nuevo León, que forma parte del área conurbada de Monterrey.

Posteriormente se manifiestan los aspectos naturales, sociales y económicos generales, iniciando con el medio físico, principalmente y con un mayor detalle en cuanto a su descripción técnica, las cualidades hidrográficas e hidrológicas, (4.3) que le inducen problemas especiales para considerar el reúso de efluentes tratados, como una opción de posible solución; complementada después (4.4) con información general sobre aspectos climáticos, geológicos, geomorfológicas y edáficos, abordando también aspectos socioeconómicos relevantes que, en suma, constituyen los componentes de sostenibilidad.

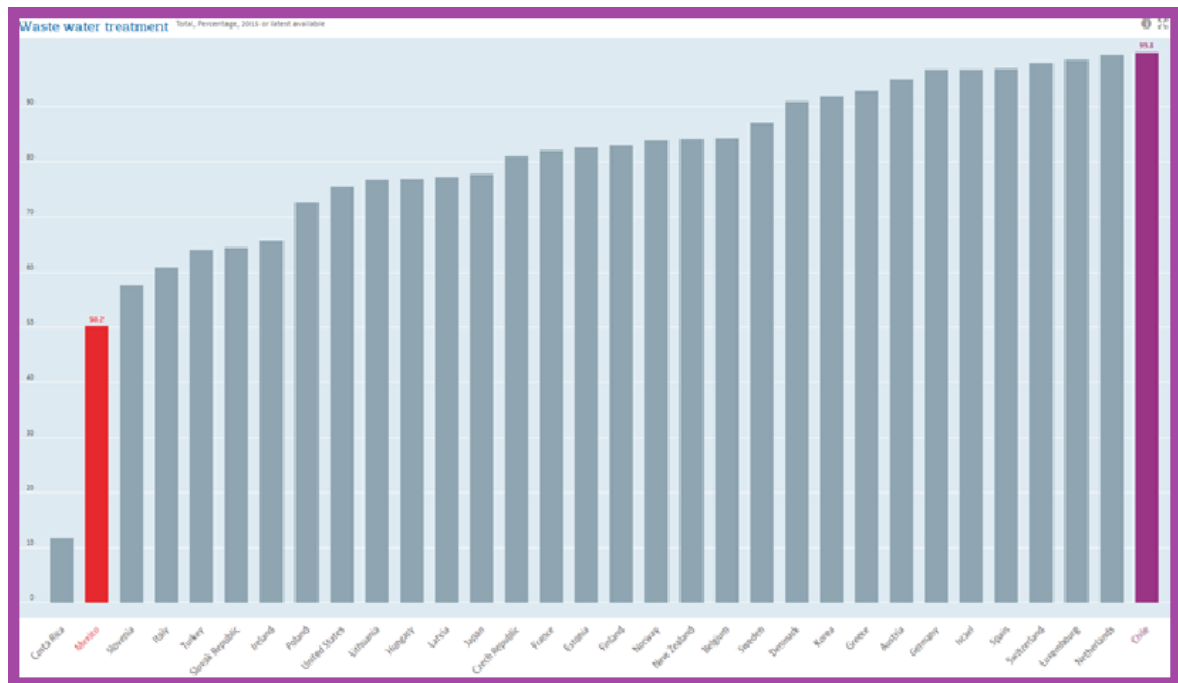
Como parte de los métodos y los materiales en la fase final de implementación, (4.5), se indican condiciones generales de planeación, con la determinación de la línea base del

método adoptado del WBSCD, en implementación de la Ecoeficiencia (EE), con el enfoque de las normas ISO, 24500 y líneas de acción; 4.6. Posteriormente se detallan las características y las acciones realizadas principalmente en los aspectos para la mejora operacional de infraestructura, como parte de la adaptación del método y la implementación de la EE en el SAART P'tar Santiago-Las Misiones inicialmente existente, que conducen a definirse finalmente como SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Lo anterior, se realiza manteniendo el enfoque en el aprovechamiento del agua residual como una fuente no convencional para satisfacer las necesidades de la población y la sostenibilidad de los recursos hídricos bajo enfoque sistémico de gestión integral del agua mediante cuencas hidrográficas, (WWAP, 2017). Se puntualiza la situación nacional actual que incide en la Entidad del Estado de Nuevo León y en el Municipio de Santiago, para la adopción de estrategias de reúso, como una alternativa para la sostenibilidad hídrica en general:

1.-México enfrenta una continua disminución de la disponibilidad del suministro de agua que realizan los más de 1,200 organismos operadores de agua del país, con extracciones de 0,7 m³ per cápita en promedio, debido al crecimiento poblacional y su concentración en ciudades y regiones con escasez de agua, que ha originado estrés hídrico en acuíferos como el Río Bravo, y aunque superó los Objetivos de Desarrollo del Milenio mejorando el acceso a los servicios de agua y alcantarillado, mantiene una de las tasas más baja de conexión a las plantas de tratamiento de agua residual conforme a la Figura 4.1, entre los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (OCDE, 2013)

Figura 4. 1 Porcentaje de Tratamiento de Aguas Residuales de la OCDE.



Fuente: OECD (2017), Waste water treatment (indicator). doi: 10.1787/ef27a39d-en [Septiembre 20, 2017]

2. El balance hídrico de México que se muestra en la Figura 4.2, indica el volumen anual promedio por precipitación, del cual el 71.5% regresa a la atmósfera por evapotranspiración; aunado a las importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur, así como la exportación de 0.43 kilómetros cúbicos anualmente del Río Bravo a los Estados Unidos, de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales del año 1944 cuya distribución se muestra en la Figura 4.7. Así, la disponibilidad natural media es de 447.26 kilómetros cúbicos de agua, en promedio al año. De ese volumen, alrededor del 80% corresponde al escurrimiento superficial nacional (354.99 km³ en 2014) y el restante 20% (92.27 km³) contribuye a la recarga de los acuíferos. (SEMARNAT, 2016).

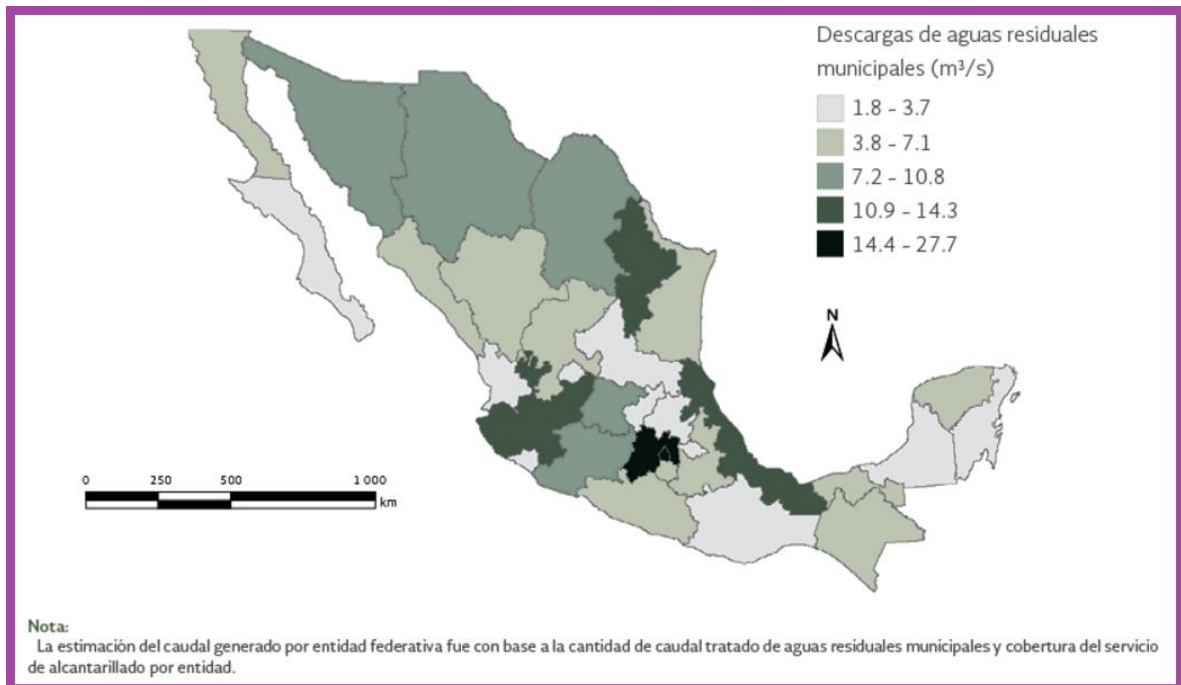
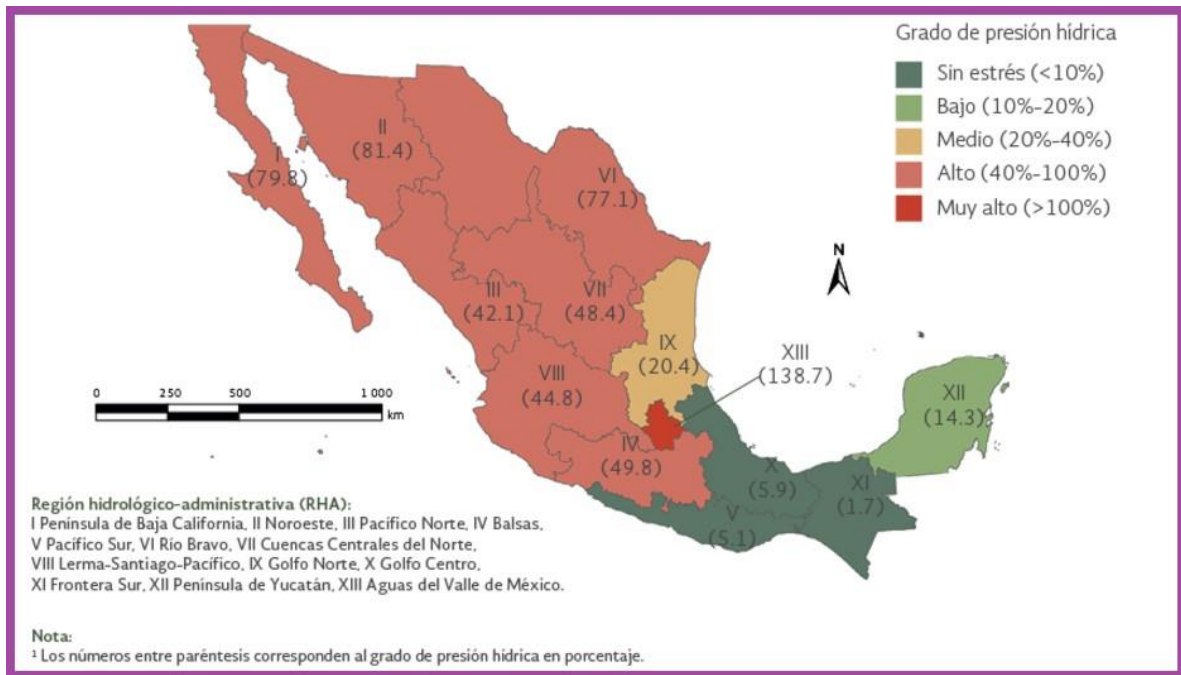
Figura 4. 2 Balance hídrico en México.



Fuente: *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015*, p. 365-366 (SEMARNAT, 2016a)

3. Los países como México, pueden, responder a la actual y futura escasez de agua causada por el cambio climático, fomentando el uso eficiente del agua, asignando el agua a usos de alto valor y cambiando a prácticas industriales y agrícolas más eficientes (WBG, 2016).
4. La presión sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneas en todas las regiones del país, principalmente en las zonas áridas y semiáridas del norte y noreste, como Nuevo León, ha aumentado considerablemente ante tecnologías más eficientes de extracción y aumento de los consumos, tanto en el abastecimiento humano como en la agricultura, la industria y el turismo, derivando a su vez, en un incremento del volumen de agua residual generada, como se muestra en la Figura 4.3, alcanzando un nivel per cápita de alrededor de 60 m³ al año entre 2014 y 2015 (SEMARNAT, 2016a).

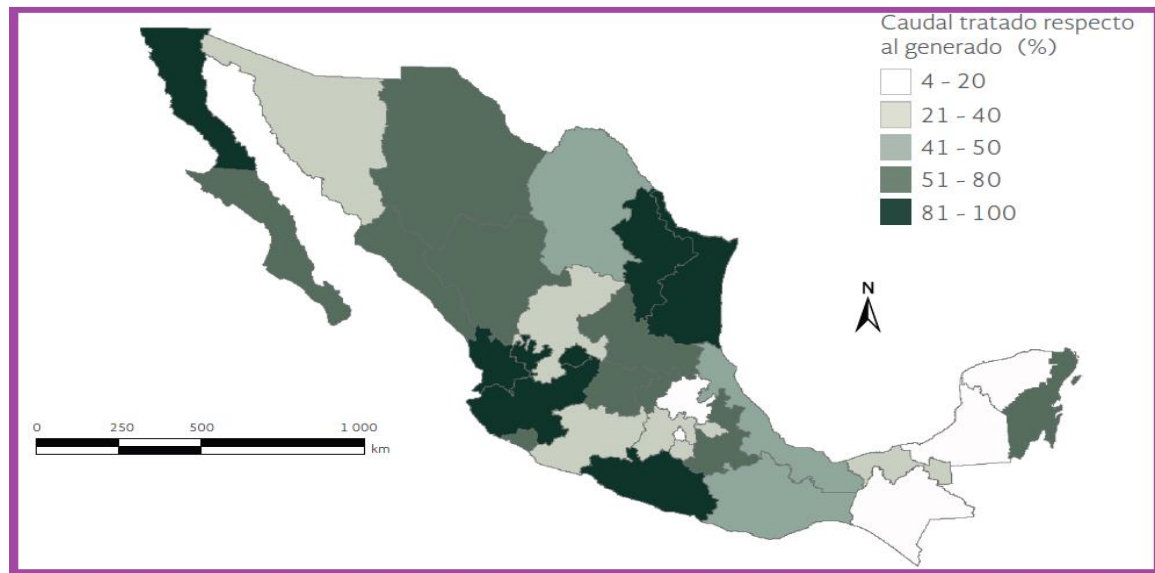
Figura 4. 3 Presión hídrica y aguas residuales domésticas generadas en México 2015.



Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015, p. 416 (SEMARNAT, 2016a)

- En el nivel nacional existe una variación importante entre entidades federativas respecto al porcentaje de agua residual municipal que se trata, en relación con el caudal generado, donde Estados como Nuevo León tratan la totalidad del caudal de agua residual generado, mientras que en Yucatán, Campeche e Hidalgo tienen porcentajes muy bajos de tratamiento, como se muestra en la Figura 4.4 (SEMARNAT, 2016a)

Figura 4. 4 Tratamiento de aguas residuales domésticas por entidad en México.



Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015, p. 416 (SEMARNAT, 2016a)

4.1.1 Región hidrológica No 24 Bravo-Conchos que integra a Santiago, N.L.

El Río Bravo nace en el Estado de Colorado, en las montañas San Juan, de la cordillera de las Rocallosas, cerca del paralelo 38° norte, en los Estados Unidos de América, en tanto que el Río Conchos nace al suroeste del Estado de Chihuahua (DOF, 2011), y su cuenca es la tercera cuenca con mayor población del país, así como también la tercera con mayor aporte al PIB Nacional (CONAGUA, 2015a).

La Cuenca del Río Bravo es transfronteriza binacional ubicada en una zona semi-desértica, cuyas relaciones en el aspecto hídrico han suscitado diversas controversias a lo largo de los años; así mismo, es la región hidrológico administrativa más extensa de México, denominada Bravo-Conchos, con un total de 226,275 km², comprendiendo parte de los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, considerando un total de 146 municipios, zona integrada por treinta y siete (37) cuencas hidrológicas de cuatro (4) Sub-regiones que son: Alto Bravo, Seis tributarios, Medio bravo y Bajo Bravo. (DOF, 2011).

La región hidrológica es la agrupación de varias cuencas hidrológicas con niveles de escurrimiento superficial similares. La Comisión Nacional del Agua ha agrupado las cuencas hidrológicas de la República Mexicana en 37 Regiones Hidrológicas que se muestran en la Figura 4.5, para hacer más eficiente la administración de los recursos hidráulicos (CONAGUA, 2016a).

Figura 4.5 Regiones Hidrológicas en México.



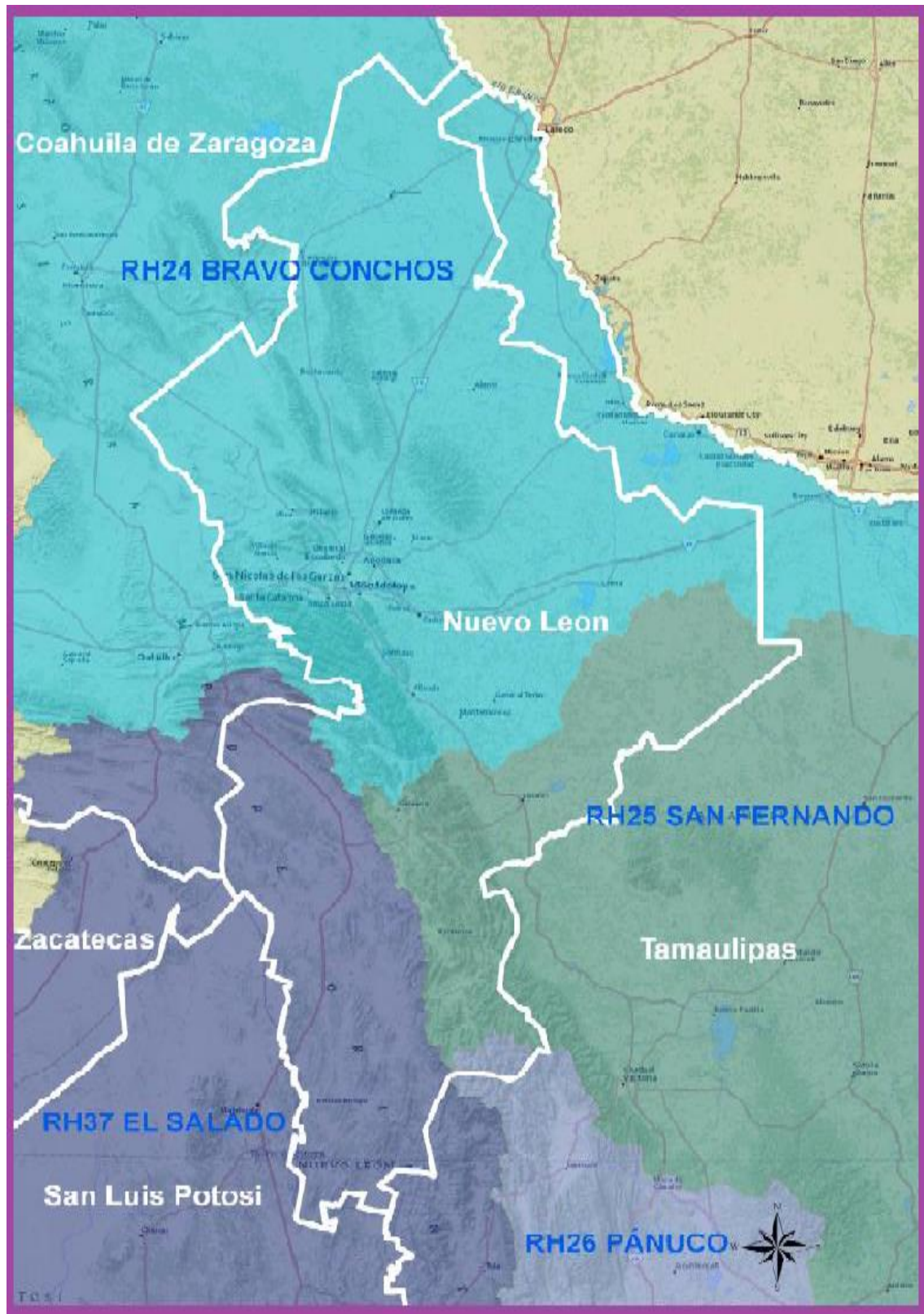
Fuente: A partir de datos de Estadísticas del Agua en México Edición 2016, p. 29 (CONAGUA, 2016a)

En Nuevo León se localizan partes de las Regiones Hidrológicas No. 25, San Fernando-Soto La Marina; No. 37, El Salado; No.26, Pánuco y la No. 24, *Bravo-Conchos*, que corresponde a la porción centro-norte del Estado como se aprecia en la Figura 4.6, en la que se ubica la *Cuenca Hidrológica del Río San Juan o División San Juan* (TNC, 2015).

El 100% del agua de la *Cuenca Hidrológica del Río San Juan o División San Juan*, de la Sub-región Bajo Bravo corresponden a México, conforme al tratado sobre distribución de aguas internacionales celebrado entre México y los Estados Unidos de América el 3 de febrero de 1944, lo que se aprecia en la Figura 4.7 (Escobedo, 2008); y cuenta con una superficie de 34,293 km² con una extracción anual de 1,964.093 Mm³, de los cuales el 70.85% fue de origen superficial y un 29.15%, y se integra por 5 de las 37 cuencas hidrológicas, entre las cuales se encuentra la número 33 denominada Río San Juan 1 (DOF, 2011).

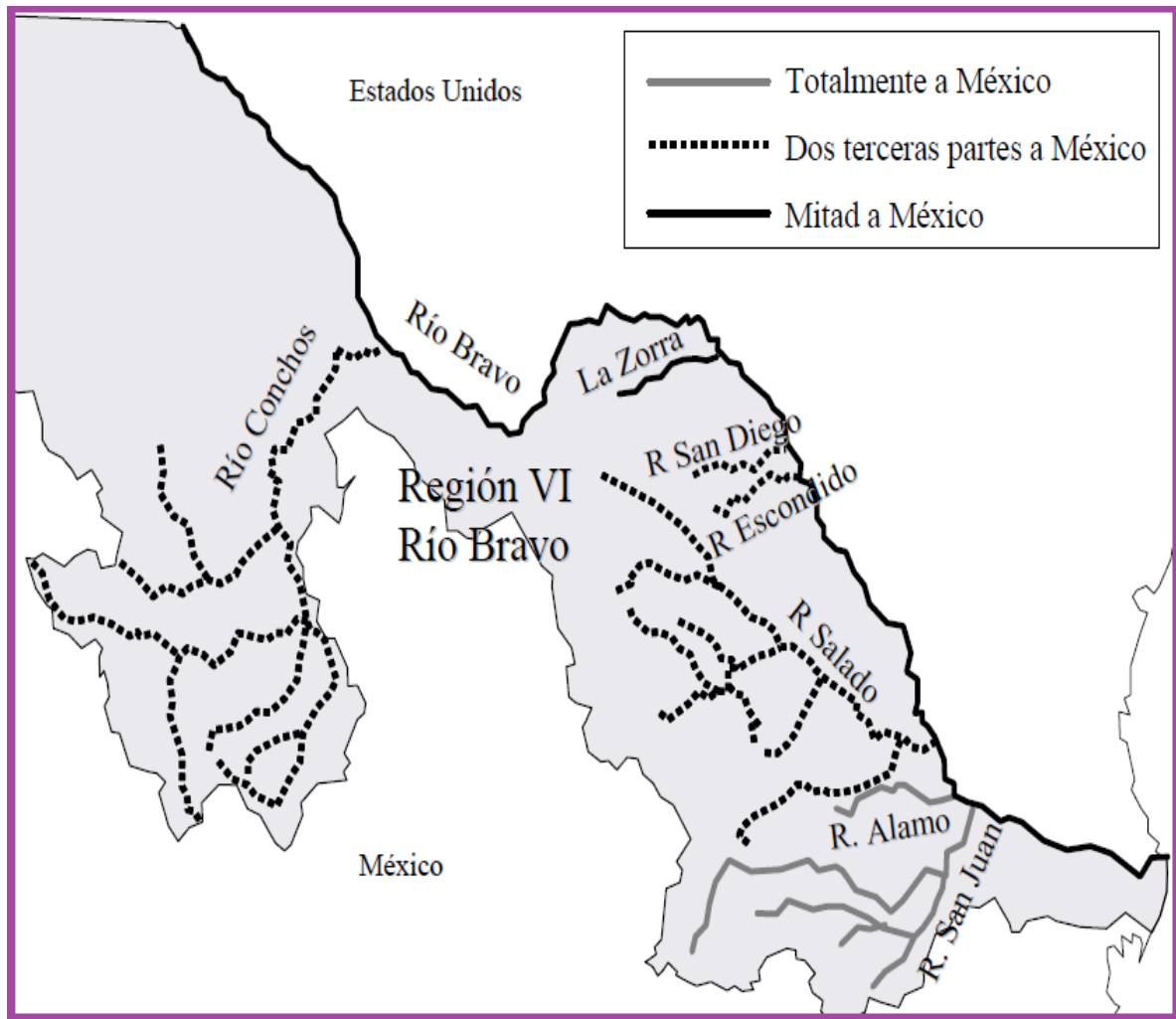
La Región Hidrológica Núm. 24, Bravo-Conchos, en la parte que comprende la ZC-AMM que incluye al Municipio de Santiago en el Estado de Nuevo León, contiene principalmente las Cuencas Hidrológicas No. 32 Río Pesquería y No. 33 Río San Juan 1, siendo esta última donde se ubica físicamente el área de estudio (DOF, 2011).

Figura 4. 6 Regiones Hidrológicas en Nuevo León.



Fuente: (TNC, 2015)

Figura 4.7 Distribución de las aguas del río Bravo en el Tratado de 1944



Fuente: (Escobedo, 2008)

A partir de resultados de los estudios técnicos realizados en la Región Hidrológica número 24, Bravo-Conchos, la SEMARNAT recomendó al Ejecutivo Federal el mejoramiento de la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y la *identificación de fuentes potenciales de agua*, ya que actualmente no es posible mantener o incrementar las extracciones.

En la Tabla 4.1 se presenta parte del problema a partir de lo que se formula que es impostergable emprender acciones que permitan restablecer el equilibrio hidrológico en la Región Hidrológica, ya que muestra evidencias de deterioro de la calidad del agua, de desequilibrio hidrológico y de sobreexplotación (DOF, 2011).

Tabla 4. 1 Problemas principales en la región hidrológica No. 24 Bravo-Conchos.

Problemática General	Problemas Específicos
Falta del Recurso Hídricos en la Región.	<p>a) La precipitación media anual es poco más de 485.8 milímetros anuales ya que es una región muy irregular en su comportamiento hidrológico, ya que las grandes avenidas no se presentan al mismo tiempo en todos los afluentes, los cuales además presentan en particular gran variabilidad anual.</p> <p>b) La aportación anual de escurrimientos promedio del lado mexicano de los seis ríos incluidos en el Tratado 1944 fue de solo 499 Mm³ anuales en el periodo de 1993 a 2001.</p> <p>c) En los últimos 50 años se han registrado sequías en tres periodos críticos: entre 1948 y 1954, entre 1960 y 1964 y la más reciente de 1993 y la mayor parte de la industria se ha concentrado en zonas con disponibilidad muy restringida de abastecimiento.</p> <p>d) La región hidrológica tiene una de las ocurrencias de agua per cápita más bajas del país, alcanzando solo el 29% de la media nacional de 1,085 metros cúbicos por habitante por año.</p> <p>e) El clima es extremoso, árido, semiárido y muy árido, con temperaturas por debajo de 0 ° centígrado y por arriba de los 45° centígrados por lo que la evaporación en cuerpos de agua es la segunda más alta del país, representando cerca del 48% de la demanda de aguas subterráneas de la región.</p>
Eficiencia en el Uso del Agua	<p>a) El sector agrícola emplea el 87% del volumen total para usos consuntivos y tiene una eficiencia media en los distritos de riego del orden del 34% y en las unidades de riego del 55%.</p> <p>b) En el sector público urbano, el alto porcentaje de agua no contabilizada representa un desperdicio del recurso agua y merma los recursos financieros de los organismos operadores.</p> <p>c) Los problemas más frecuentes en el servicio de alcantarillado, son colapsos de tuberías cuya vida útil ha sido rebasada, taponamientos y afloramientos por falta de mantenimiento.</p>
Contaminación	<p>a) Sólo el 2% de sus aguas es aceptable, no hay presencia de tóxicos y no existen partes no contaminadas y como "poco contaminada" el 79% del total de la región.</p> <p>c) Se identifica el 7% como "altamente contaminado" principalmente en dos tramos del Río Salinas cerca de la ZC-AMM.</p> <p>d) Los tramos de ríos dentro que se encuentran clasificados como "contaminado" representan el 12% de la región son: el Río Salado en un tramo; el Río Pesquería desde la ZC-AMM, Nuevo León hasta interceptar sus aguas con las aguas provenientes de la Presa El Cuchillo y más adelante en un tramo antes de desembocar en la Presa Marte R. Gómez; el Arroyo Ayancón y en un tramo del Río Bravo en la Subregión Hidrológica Alto Bravo exactamente donde desemboca sus aguas el Río Conchos.</p> <p>e) En general, los acuíferos poseen agua de calidad aceptable, excepto en las zonas del Valle de Juárez (acuífero transfronterizo Bolsón del Hueco) y Reynosa, donde el agua es salobre</p>
Sobreexplotación de los Acuíferos	<p>a) Los acuíferos más importantes que abastecen las plantas industriales y centros urbanos, así como las áreas de riego de la zona de la División Conchos están sobreexplotados por una disponibilidad de agua limitada, el desarrollo de la región, ha incrementado paulatinamente sus demandas de agua.</p>
Conflictos en el Abastecimiento de agua	<p>a) El crecimiento y la diversificación que están experimentando los diferentes sectores usuarios a lo largo de la frontera con los Estados Unidos de América y al interior de los estados fronterizos, generan condiciones propicias para el desarrollo de</p>

	<p>conflictos en torno al acceso al agua, de las cuales es necesario tomar conciencia.</p> <p>b) El Organismo Operador Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., ente desconcentrado del Gobierno del Estado de Nuevo León, prestador de servicios a Monterrey y su Área Metropolitana, entrega un mínimo de 189 millones de metros cúbicos anuales de aguas residuales tratadas que son almacenados en la Presa Marte R. Gómez, para ser utilizados en el D.R. 026 Bajo Río San Juan.</p> <p>c) El 52.9% del agua para el uso público urbano que se extrae en toda la región hidrológica corresponde a la División San Juan donde se ubica la ZC-AMM como el Municipio de Santiago Nuevo León, por lo que es destacable la insuficiencia en el abastecimiento de agua potable.</p> <p>d) Se presentan incrementos en la disponibilidad por la importación de volúmenes: I.- 26.02 Mm³ anuales de la Presa Cerro Prieto perteneciente a la Región Hidrológica número 25 San Fernando-Soto La Marina, para complementar el abastecimiento de la ZC-AMM; II.-Entre cuencas hidrológicas de 32 Río Pesquería y 34 Río San Juan 2 que reciben 99.8 Mm³ y 0.8 Mm³ provenientes de la cuenca Río San Juan 1 para el mismo fin.</p>
Tratamiento de Agua Residual	<p>a) Agua Residual Municipal: Se generan casi 20 metros cúbicos por segundo, de los cuales se tratan solamente 15.4 metros cúbicos por segundo, es decir el 77% del total y el agua residual industrial: El gasto de diseño de conjunto de P'tars es de 498,000 metros cúbicos diarios y solamente la mitad de estos efluentes cumplen con las condiciones particulares de descarga.</p>
Reúso de Agua Residual Tratada.	<p>a) Del caudal total de 15.4 metros cúbicos por segundo tratados, solamente se destina a un tipo de reúso un gasto de 1,479 litros por segundo, lo que significa que en la región no existe una cultura para el reúso del agua a pesar de que las carencias de fuentes de abastecimiento y su alto costo de inversión. El reúso es sobre todo para fines industriales y de riego de áreas verdes urbanas.</p> <p>b) Solamente 5,142.792 Mm³ de agua para su reúso retornaron al sistema en la región hidrológica según estimaciones, de los cuales el 93% corresponde a los volúmenes usados en las plantas hidroeléctricas, mientras que el resto corresponde a retornos de agua residual, tratada o no, provenientes principalmente de localidades urbanas, en donde 99.756 Mm³ corresponden a la División San Juan.</p>

Elaboración propia a partir de los resultados de los estudios técnicos de la Región Hidrológica No. 24, Bravo-Conchos (DOF, 2011).

4.2.1.1 Disponibilidad de Agua de la cuenca hidrológica San Juan 1 y Acuífero El Huajuco.

La cuenca hidrológica número treinta y tres (33) denominada del *Río San Juan 1* tiene su origen en el arroyo La Chueca, que nace en el ojo de agua El Tronco, en el Cañón del Denuncio, con aportaciones de arroyos perenes que bajan de la Sierra Madre Oriental, como el arroyo Carpinteros, que tiene una longitud de aproximadamente 7,000 m y cruza la región del fraccionamiento el Barro para unirse al arroyo La Chueca, el cual corre en dirección sureste y tiene una longitud de 13,800 m, presentando un caudal aproximado de 31.4 litros por segundo que conduce hasta la presa Rodrigo Gómez (La Boca) de 40 Mm³de

capacidad, la cual es destinada para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Monterrey, y de aquí continúa con el nombre de Río San Juan, hasta su desembocadura en el río Bravo en Camargo, Tamaulipas (DOF, 2015).

En la Tabla 4.2, se puede apreciar que de 1,397.950 Mm³ de agua extraída en la División San Juan del Bajo Bravo se destinaron para uso agrícola en los Distritos de Riego Bajo Río Bravo, (025), Bajo Río san Juan (026) y Las Lajas (031), lo cual representa el 71.175% de la extracción total anual de agua registrada, en tanto que en la Tabla 4.3 se puede apreciar que tan solo 437.552 Mm³ se destinaron al uso público urbano, lo que representa el 22.277 % de la extracción total anual de agua registrada; 85.652 Mm³ se extrajeron para uso industrial y tan solamente 8.982 Mm³ se destinaron a uso pecuario (DOF, 2011).

Tabla 4.2 Volúmenes de uso agrícola en la RHA Bravo-Conchos.

Subregión Hidrológica	División	VOLUMEN Millones de metros cúbicos								
		Distritos de Riego			Unidades de Riego			Totales		
		Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
Alto Bravo	Única	124.886	0.000	124.886	1.040	31.225	32.265	125.926	31.225	157.151
Seis Tributarias	Conchos	1,393.218	230.300	1,623.518	400.327	289.502	689.829	1,793.545	519.802	2,313.347
	A. Vacas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.133	0.133	0.000	0.133	0.133
	San Diego	43.042	0.000	43.042	2.445	0.454	2.899	45.487	0.454	45.941
	San Rodrigo	0.000	0.000	0.000	1.398	0.746	2.144	1.398	0.746	2.144
	Escondido	0.000	0.000	0.000	1.166	21.026	22.192	1.166	21.026	22.192
	Salado	259.007	0.000	259.007	131.433	170.332	301.765	390.440	170.332	560.772
Medio Bravo	Única	37.098	0.000	37.098	38.953	77.471	116.424	76.051	77.471	153.522
Bajo Bravo	Álamo	0.000	0.000	0.000	0.000	33.106	33.106	0.000	33.106	33.106
	San Juan	569.953	0.000	569.953	446.703	381.294	827.997	1,016.656	381.861	1,397.950
	Bravo abajo Falcón	1,229.524	0.000	1,229.524	0.000	33.861	33.861	1,229.524	33.861	1,263.385
TOTAL		3,656.728	230.300	3,887.028	1,023.465	1,039.150	2,062.615	4,680.193	1,279.017	5,949.643

Fuente: (DOF, 2011)

Tabla 4. 3 Volúmenes de uso público urbano en la RHA número 24 Bravo-Conchos.

SUBREGION HIDROLOGICA	DIVISION	VOLUMEN Millones de metros cúbicos		
		Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas	TOTAL
Alto Bravo	Única	0.066	35.378	35.444
Seis Tributarios	Conchos	32.415	56.268	88.683
	A.Vacas	0.000	0.075	0.075
	San Diego	0.432	0.228	0.660
	San Rodrigo	0.024	0.077	0.101
	Escondido	0.002	0.727	0.729
	Salado	0.142	4.153	4.295
Medio Bravo	Única	80.497	10.761	91.258
Bajo Bravo	Álamo	0.000	0.000	0.000
	San Juan	355.994	81.558	437.552
	Bravo abajo Falcón	166.817	2.044	168.861
	TOTAL	636.389	191.269	827.658

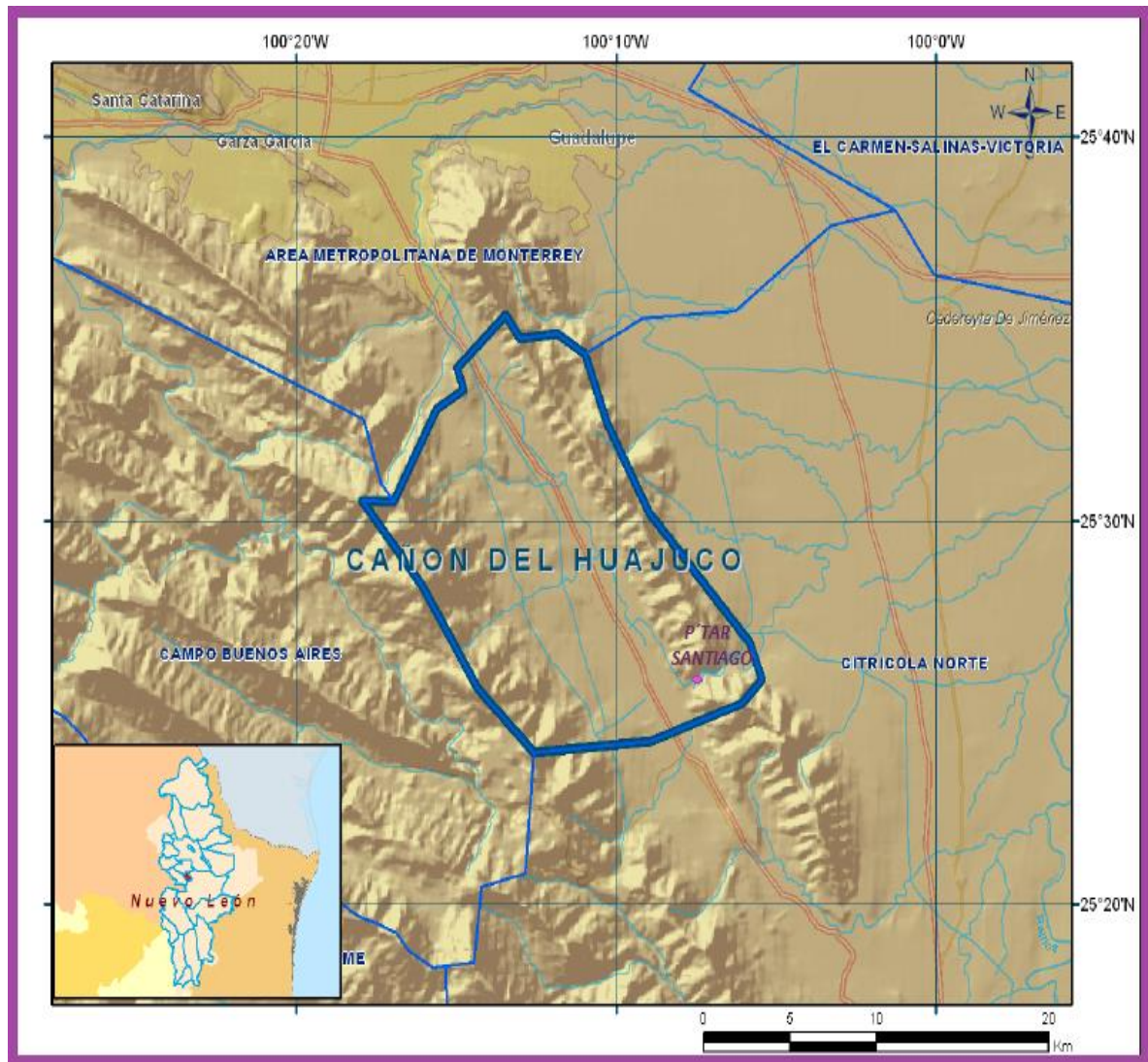
Fuente: (DOF, 2011)

Dentro de esta cuenca hidrológica se encuentra el acuífero Cañón del Huajuco, definido con la clave 1911 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea de la CONAGUA, el cual posee una recarga media anual de 26.8 hm³/año, pero un déficit de 1.75 hm³/año en la disponibilidad media anual de agua subterránea; el cual se localiza en la porción centro-oriental del estado de Nuevo León conforme a la Figura 4.8 (DOF, 2015).

Este acuífero cubre una superficie de 235 km², geográficamente colinda al norte con el acuífero Área Metropolitana de Monterrey, al Este y al Oeste con el acuífero Campo Buenos Aires, y comprende parcialmente los municipios de Monterrey y Santiago, incluyendo la zona donde se ubica la zona de estudio y P'tar Santiago, así como pequeñas porciones de los municipios de Santa Catarina, Juárez y Cadereyta Jiménez (DOF, 2015).

Los problemas en Santiago, Nuevo León, en materia de disponibilidad de agua se caracterizan y recrudecen por la voracidad del Área Metropolitana de Monterrey, como consumidora, y la adopción de una política de abastecimiento costosa en términos económicos, ecológicos y humanos acelerada por la concentración urbana en la ZC-AMM (SDS, 2010).

Figura 4. 8 Localización de Acuífero 1911 Cañón del Huajuco y P'tar Santiago.



Fuente: *Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Cañón del Huajuco, Estado de Nuevo León*, (DOF, 2015).

La falta de infraestructura de alcantarillado y saneamiento en la zona del Cañón del Huajuco ocasiona contaminación de los acuíferos por infiltración, por lo que ante la situación actual y las expectativas de crecimiento, el camino a tomar es el de optimizar y reusar el agua disponible y desarrollar proyectos específicos en torno al uso del agua (SDS, 2010).

La estimación del caudal de demanda de agua potable que tendrá la Zona Metropolitana de Monterrey en el año 2030 es del orden de 16.4 m³/s, considerando una dotación de 130 l/hab/día, y en cuanto a drenaje sanitario, se producirán poco más de 15 m³/s en el mismo período, por lo que deberán considerarse los proyectos de ampliación y de nuevas

plantas de tratamiento de aguas negras, en lugares estratégicos, que con sistemas de tratamiento primario y secundario garanticen la calidad para el reúso de los efluentes tratados (SDS, 2010).

De esta forma, en el Municipio de Santiago, Nuevo León, a pesar de encontrarse inmerso en una zona de gran cantidad de recursos hídricos, no puede acceder a ellos para su aprovechamiento, porque existe un *déficit de 82.136 Mm³* en la cuenca hidrológica número 33 denominada Río San Juan 1 (DOF, 2016), así como un *déficit de 1.755 Mm³* en el acuífero Cañón del Huajuco (DOF, 2015), por lo que su gestión hídrica actual la hace ser considerada como no sostenible, siendo imprescindible implementar acciones que coadyuven al logro de la misma.

4.1.1.2 Tratamiento y reúso hídrico en la región hidrológica No. 24, Bravo-Conchos.

En el nivel nacional, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) señala que las entidades que padecen más sequías son: Durango, Chihuahua, Coahuila, y Nuevo León. (CESOP, 2017), por lo que mejorar la eficiencia en el uso del agua es imprescindible para hacer frente a la brecha proyectada de 40% entre la demanda y la oferta, a fin de mitigar la escasez de agua proyectada para el año 2030 (PNUMA, 2011).

En la región se genera un total de agua residual cercano a los 20 m³/s, de los cuales se tratan solamente 15.4 m³/s en plantas cuya eficiencia se muestra en la Tabla 4.4; es decir, el 77% del total generado, de lo cual solamente se destina a un tipo de reúso un caudal de 1.479 m³/s lo que significa que en la región *no existe una cultura para el reúso del agua* a pesar de las carencias de fuentes de abastecimiento (DOF, 2011).

Tabla 4. 4 P'tars en operación dentro de la región hidrológica No. 24 Bravo-Conchos.

Subregión	Número de plantas	Gasto máximo de operación Litros por segundo	Eficiencia real Litros por segundo	Eficiencia %
Alto Bravo				
Amistad-Ojinaga	1	250	250.0	100
Seis Tributarios				
Salado y Sabinas	4	680	533.1	78
Conchos	30	4,999	3,662.0	73
Medio Bravo				
Álamo	5	80	21.0	27
Bajo Bravo	6	865	1,059.0	122
San Juan	41	11,882	8,476.0	71
TOTAL	87	18,756	14,001.1	71

Fuente. Diario Oficial de la Federación (DOF, 2011).

En México se cultivan 157,473 hectáreas con agua residual tratada, como una forma de control de la contaminación y una alternativa viable para aumentar la disponibilidad hídrica, principalmente en regiones áridas y semiáridas (Felício y Caetano, 2007); de las cuales, 14,440 corresponden al Estado de Nuevo León en la Región Hidrológica 24 (Yuso, 2017).

4.1.1.3. Tratamiento y reúso hídrico en la cuenca del Río San Juan, en Nuevo León.

Según datos de la SEMARNAT (DOF, 2011) no existe disponibilidad para nuevos aprovechamientos en la cuenca del Río San Juan.

La Visión del Plan Estatal de Desarrollo 2016-2021 del Estado de Nuevo León es consolidarlo como un Estado líder con niveles sostenibles de desarrollo económico, social, humano y ambiental, para el bienestar de todos sus habitantes, y que sea comparable con el nivel de países desarrollados (PED, 2016).

Nuevo León contaba en diciembre de 2015 con 52 plantas de tratamiento de agua residual, con una capacidad instalada integral para tratar 14,610 lps, con un promedio de ART de 11,230.5 lps producidos, lo que representa más del 54% del caudal extraído y potabilizado de sus fuentes, que ascendió a 6,082 lps en el mismo periodo; por lo que, es muy amplia la potencialidad de la implementación y mejora de los SAART para el desarrollo de un RHS (SEMARNAT, 2016a).

El caudal destinado a reúso y el tratado vertidos en la cuenca hidrológica número 33 denominada Río San Juan 1 (DOF, 2011), siendo éstos los únicos de la ZC-AMM que se descargan a esta cuenca, ya que en Monterrey toda el agua residual se descarga bajo tratamiento en la cuenca hidrológica número 32, denominada Río Pesquería a través de cuatro plantas de tratamiento principales denominadas: Dulces Nombres, Norte, Noreste y Santa Rosa, que en conjunto tienen una capacidad de 12,575 litros por segundo (SADM, 2017).

Los efluentes tratados por la P'tar Santiago, cuya capacidad es de 200 lps, fueron de 90 lps en el año 2006 (CONAGUA, 2006), los que se incrementaron en 2015, alcanzando un caudal promedio anual de 151.9 lps (CONAGUA, 2015b).

El SAART P'tar Santiago-Las Misiones suministró para reúso directo planeado solamente el 11.79% del volumen de los efluentes tratados de enero de 2003 a Junio de 2007, a su único cliente para un solo destino de reúso, que fue el riego de los campos de Golf, donde la demanda promedio real representó solamente 15.47 lps (SADM, 2017).

Con el fin de ampliar los sistemas de distribución de ART que permitan un incremento en los volúmenes de reúso, y en virtud de que se trata el 100% del agua residual generada en la ZC-AMM, se gestionó por SADM y se obtuvo un crédito con el Banco de Desarrollo de América del Norte, por un monto de 300 millones de pesos para su financiamiento, proyecto que está en ejecución desde 2007 (NADBANK, 2006).

4.2 Área de estudio Santiago Nuevo León.

Esta área se ubica en las inmediaciones de la Sierra Madre Oriental, con una porción en el Parque Nacional "Cumbres de Monterrey" y la zona conocida como Cañón del Huajuco, comprendida entre los parteaguas de la Sierra Madre y la Sierra de la Silla, como se muestra en la Figura 4.9 (Caballero, 2015).

El área se localiza entre los paralelos 25° 13' y 25° 31' de latitud norte; los meridianos 100° 02' y 100° 33' de longitud oeste; con altitudes entre los 300 y 3,500 metros de altura. Colinda al Norte con los municipios de Santa Catarina, Monterrey y Cadereyta Jiménez; al Este con los municipios de Cadereyta Jiménez, Allende y Montemorelos; al Sur con los municipios de Montemorelos y Rayones y el Estado de Coahuila de Zaragoza; al Oeste con el Estado de Coahuila de Zaragoza y el municipio de Santa Catarina (INEGI, 2010).

Hidrológicamente, el área se ubica principalmente dentro de la Cuenca Hidrológica No. 33, San Juan 1 de la Sub-región Bajo Bravo División San Juan, en la Región Hidrológica No. 34, Bravo-Conchos, en la División San Juan del Bajo Bravo. (DOF, 2011).

Se trata de una zona dotada de una gran belleza natural y que, por lo mismo, ha tenido a lo largo de los años un desarrollo constante, como se acredita en el crecimiento de los municipios de Santiago y Allende. Su extensión es de 753.8 Km², representando sólo el 1.2% de la extensión total del Estado. Cuenta con 232 localidades y una población total, en 2015, de 42,407 habitantes (INEGI, 2016), y una proyección de crecimiento poblacional que superará los 50,000 habitantes en 2030 (CONAPO, 2017).

La actividad económica de Santiago está centrada en el comercio, con gran afluencia de turistas, derivado de las múltiples actividades de esparcimiento y bellezas naturales que posee la región. Al contar con la categoría de "Pueblo Mágico", predominan las actividades relacionadas, el turismo, la hotelera, la restaurantera y, colateralmente a ellas, las actividades comerciales y de servicios, sin faltar las agrícolas, ganaderas e industriales menores (Caballero, 2015), por lo que el uso de suelo para la agricultura es de sólo un 9% y zona urbana de 1%. (INEGI, 2009).

4.2.1 Clima.

El clima es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, de humedad media (35%) y de menor humedad (23%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (22%), semiseco templado (14%), semicálido subhúmedo con lluvias escasas todo el año (3%), semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año (1.4%), templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año (0.9%) y semiseco semicálido (0.7%), de acuerdo con la clasificación Köppen adaptada por E. García para las condiciones de México. La precipitación media anual de 1923 a 2015 1,031.7mm, con intervalo de precipitación entre 500-1,100 mm (INEGI, 2016). La temperatura media anual es de 20.4°C con un rango de temperatura de 10 a 24°C y presenta variación con tendencia parabólica con mayor intensidad durante el período de abril a octubre, decreciendo durante el resto del año. Los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero (DOF, 2015).

El clima presenta un máximo térmico coincidente con la posición del sol durante el verano, alcanzando un máximo 43⁰ C; sin embargo, en octubre y principalmente en noviembre, se inicia la penetración de las masas frías del norte, que incrementan el enfriamiento normal del suelo, por lo que ya en diciembre y enero se alcanzan los mínimos térmicos de -3.5⁰C. Las precipitaciones registradas en los meses de enero a marzo están dadas por la entrada de los “nortes” al territorio nacional, que producen lluvias ligeras o moderadas hasta de 26 mm, siendo hasta junio o agosto cuando se deja sentir la influencia de las lluvias de verano, en forma torrencial y de chubascos fuertes con 224 mm (SEDUE, 2011).

4.2.2 Topografía y relieve.

La topografía del área corresponde a la provincia de la Sierra Madre Oriental y Subprovincia Gran Sierra Plegada (94%) con una altura promedio de 2,200 m.s.n.m. y a la provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte y subprovincia Llanuras y Lomeríos (6%). Corresponde al sistema de Topoformas de la Sierra Plegada Flexionada (82%), y Valle de Laderas Tendidas (12%) Lomerío con Llanuras (6%) (INEGI, 2016).

En el área urbana y urbanizable del Cañón, el 59.2% del territorio de la zona del Cañón del Huajuco se observan pendientes menores que el 15%. En el espacio comprendido entre el Antiguo Camino a Santiago (Camino Real) y la carretera nacional número 85 se localizan los terrenos que presentan pendientes del 0 al 2% (935 hectáreas). Estos terrenos se consideran factibles para el desarrollo urbano; en la zona los terrenos que presentan pendientes del 15 al 30% se presentan, en lo general, en la ladera de cerros y lomas, ligeramente convexos, abruptos y con vegetación nativa como lo es la cabecera municipal

y las localidades aledañas, en tanto que existen pendientes del 30 al 45% en zonas que están siendo urbanizadas, como San José, La Cieneguilla y, aunado a pendientes de más de 45%, como La Covadonga y San Francisco (SEDUE, 2011).

4.2.3 Geología.

La geología del lugar consiste en pliegues anticlinales y sinclinales con orientación nortesur, que se flexionan al sur de Monterrey, en el Anticlinorio de Arteaga, donde adoptan orientación este-oeste (DOF, 2015). Así mismo, se encuentran formaciones del periodo Cretácico (77%), Jurásico (10%), Cuaternario (8%) y Neógeno (5%). Existe la presencia de Rocas Sedimentarias: caliza (41%), lutita (18%), caliza-lutita (16%), lutita-arenisca (12%), conglomerado (4%), brecha sedimentaria (3.7%), yeso (0.2%) y travertino (0.1%). El Suelo es aluvial (5%) (INEGI, 2016). Las rocas presentes en la zona de estudio abarcan del Jurásico Medio-Superior al Cuaternario, como Formación La Casita (JtLu-Ar), que aflora en el cerro de La Silla y al oeste del poblado Los Cristales. Predominan las lutitas, pues es común encontrar horizontes de lutitas (DOF, 2015).

4.2.4 Edafología.

En cuanto al suelo, es dominante el Leptosol (64.8%), Phaeozem (27.4%), Vertisol (5.6%), no aplicable (1.2%), Fluvisol (0.8%) y Regosol (0.2%) (INEGI, 2016). Sobre los márgenes de los arroyos “La Chueca” se presentan suelos de vertisol y fluvisol. Estos suelos se caracterizan por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos en tiempos de sequía. En gran parte del Cañón del Huajuco se presentan suelos del tipo litosol, suelos de piedra con una profundidad de 10 cm hasta la roca, del tipo erodables, con alto contenido de materia orgánica, sales o sodio; su uso normalmente es forestal, en tanto que por la zona del “Cerro de La Silla” se localizan suelos que se caracterizan por presentar bajo la capa superficial una capa delgada de material infértil y ácido que impide el paso de las raíces, porque bajo esta capa presentan un subsuelo muy arcilloso e impermeable (SEDUE, 2011).

4.2.5 Vegetación y fauna.

Se presenta una zona de bosque que ocupa el 59%, conformado por bosque de pino y mixto de encino-pino; matorral que ocupa un 24%, conformado por matorral rosetófilo subperenitofilo y palmar, matorral submontano, matorral subinermes subcaducifolio y matorral subinermes (24%), y pastizal (7%), sin embargo, el crecimiento que en los últimos años se ha dado en el Cañón ha modificado en forma acelerada los ecosistemas naturales, implicando especies en estatus de riesgo (INEGI, 2016).

En los bosques de pino se encuentra el *Pinus Greggii*, *Pinus Pseudostrobus*, *Pinus Teocote* y *Pinus Arzónica*; así mismo, existen otros tipos de especies, como uña de gato, ébano, huizache, mezquite, palo blanco y chaparro, además de las coníferas: pinos y encinos, además de chapote, barreta, y gran variedad de árboles frutales como: manzano, ciruelo, chabacano, durazno, peral, nogal, naranjo, mandarino, pomelo, guayaba, aguacate, tecojote y membrillo (Caballero, 2015).

El área de estudio es un corredor biológico natural que se usa por varias especies, destacando los mamíferos grandes y medianos como el oso negro, el puma, el venado cola blanca, el jabalí, el coyote, el tejón, el mapache, el jaguarundi y el coatí, restringidos en movimiento por la carretera nacional número 85 y las actividades antropogénicas de la zona; lo cual le sucede con la mayoría de las especies incluyendo reptiles y anfibios localizados, siendo la excepción las aves que siguen presentando sus desplazamientos a lo largo y a lo ancho del Cañón del Huajuco durante todo el año, donde se detectan en menor proporción especies migratorias, como algunas aves y murciélagos (INEGI, 2016).

Se pueden encontrar especies de correcaminos, liebre, aguililla, urraca, pauraque, tórtola, golondrinas, carpintero, gorrión, garza garrapatera, gallareta, oso, venado, tejón, ardilla, gato montés, leoncillo, armadillo, conejo, guajolote, jabalí, coralillo, cascabel, garza y zopilote (Caballero, 2015).

4.2.6 Infraestructura, vivienda y vialidad.

Santiago cuenta con 18,116 viviendas, de las cuales, el 90.52% tiene servicio de agua entubada y 97.54% servicio sanitario, así como el 98.81% tiene energía eléctrica (INEGI, 2016).

Allí se dispone de un sistema de abastecimiento de agua potable denominado Sistema Santiago-Monterrey que integra la presa Rodrigo Gómez, La Boca, una planta potabilizadora con capacidad de 2,400 lps, así como con 3 galerías filtrantes denominados Cola de Caballo I, Cola de Caballo II y San Francisco, interconectados con 2 acueductos de 48" y 54" denominados Santiago I y Santiago II para la conducción de agua potable para la ZC-AMM, como se muestra en la Figura 4.14, que se complementa por el SAART P'tar Santiago-Misiones lo cual lo constituye como un sistema dual de abastecimiento (SADM, 2017).

En lo relativo al saneamiento del agua residual doméstica, cuenta con una Planta de Tratamiento mediante el proceso de lodos activados, con una capacidad instalada para 200 lps, que alcanzó un volumen de 4.79 Mm³ en 2015 (INEGI, 2016).

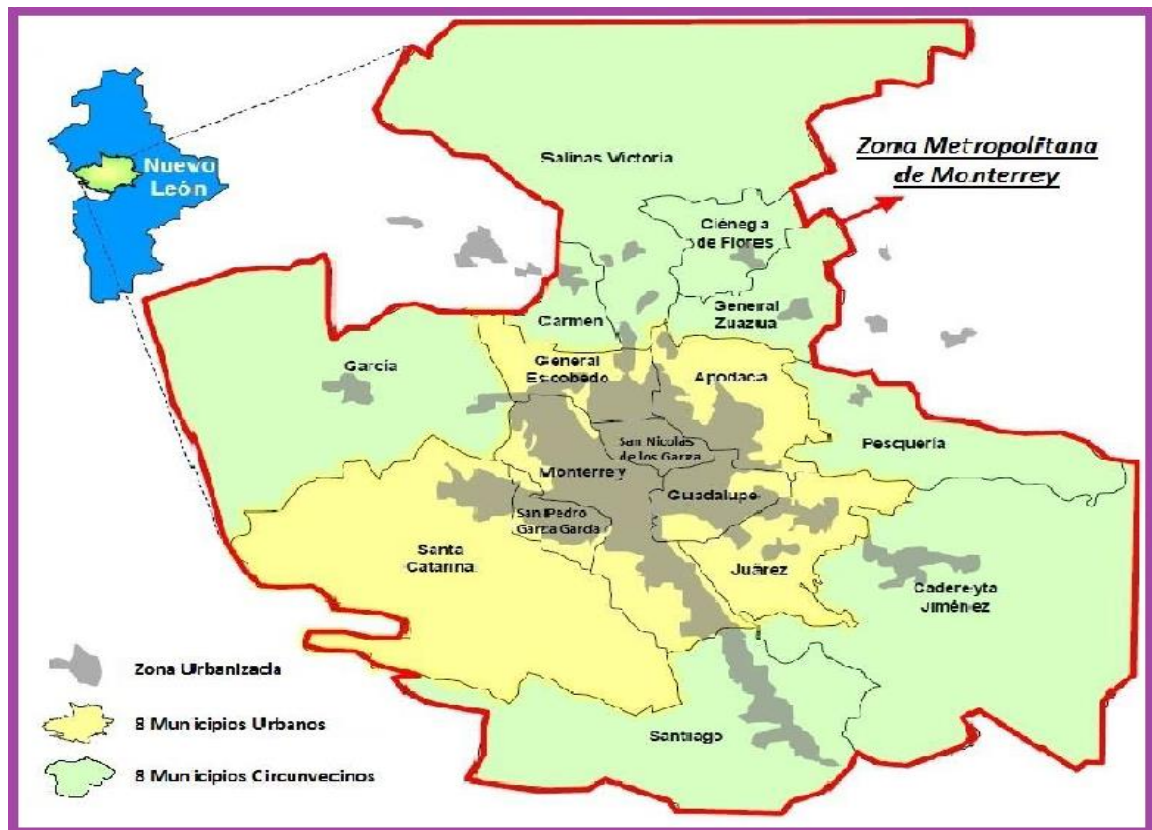
La estructura vial está conformada por un eje principal regional que es la autopista número 85, Monterrey-Linares, que cruza a lo largo del Cañón del Huajuco, y las

Carreteras Estatales No. 20, El Cercado-Laguna de Sánchez, No. 35, Los Cavazos-Cadereyta Jiménez y la Carretera Estatal No. 180, a la ciudad de Saltillo, Coahuila (Caballero, 2015).

Existen más de 150 instituciones educativas públicas y privadas de los diferentes niveles educativos; de los niveles de preescolar hasta universidades (Caballero, 2015). En el ramo de la salud, existen instituciones públicas y privadas; 13 centros de salud, 1 unidad médica del IMSS, 1 unidad médica del ISSSTE, 1 unidad médica de la Sección 50 de Maestros y 1 Centro de Rehabilitación del DIF, los cuales brindan servicios de salud a un gran número de la población (Caballero, 2015).

El Municipio de Santiago, Nuevo León, forma parte de la zona metropolitana de la Ciudad de Monterrey, como se aprecia en la Figura 4.10, y en él se ubican las fuentes subterráneas y superficiales de abastecimiento de agua para uso urbano, que en el año 2010 aportaron casi el 30% de la demanda de agua de aproximadamente 11,500 lps (NADBANK, 2014).

Figura 4. 10 Municipios de la zona conurbada del área metropolitana de Monterrey.



Fuente: (NADBANK, 2014)

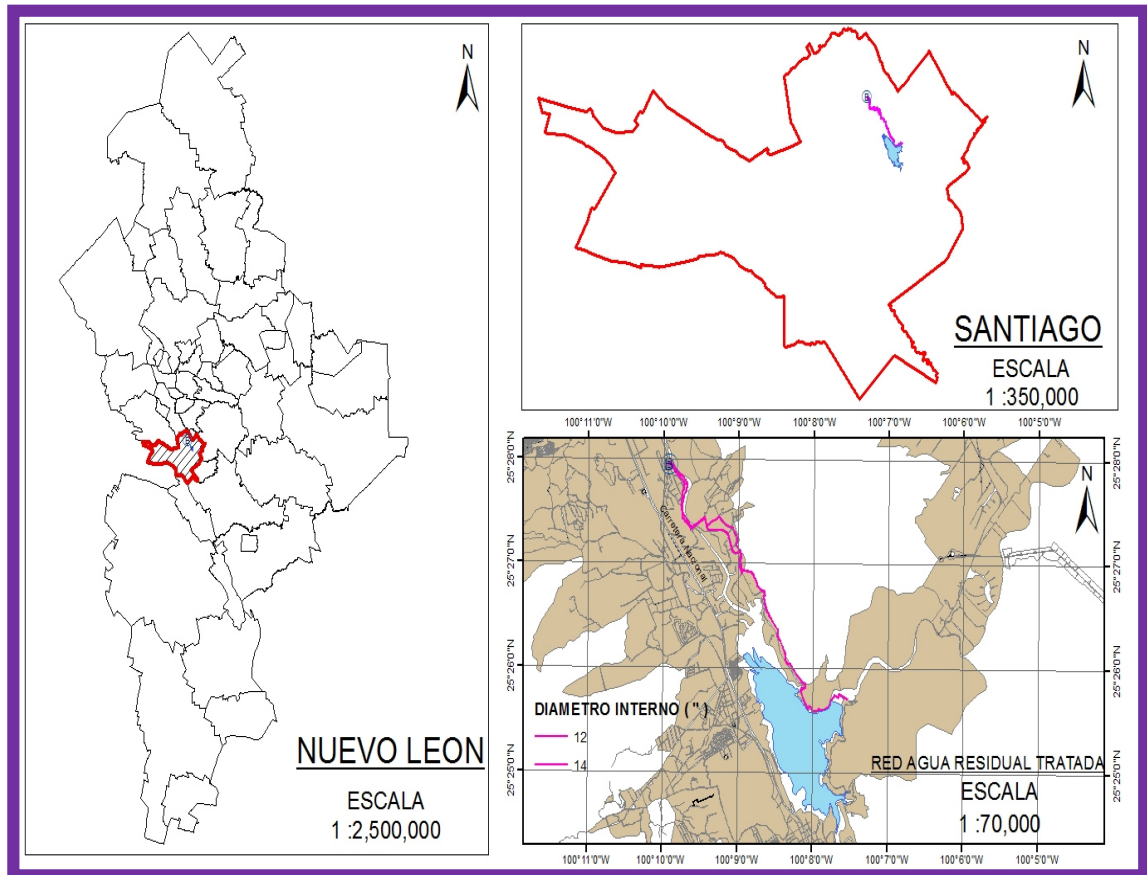
En el Municipio de Santiago, Nuevo León y la zona de estudio, se ubica la cuenca hidrológica número 33 denominada Río San Juan 1 de la División San Juan del Bajo Bravo, que comprende desde el origen del Río San Juan hasta la Presa Solidaridad “El Cuchillo”, con una superficie de 9,147 km² y cuyo principal embalse es la presa Rodrigo Gómez “La Boca”, ubicada en el mismo municipio (DOF, 2011); sin embargo, los valores de la disponibilidad media anual resultante son de un déficit de -82.136 Millones de metros cúbicos anuales (Mm³/año), ya que mantiene un Volumen Medio Anual de escurrimiento de la cuenca o subregión hacia aguas debajo (Ab) de 183.477 Mm³ y un Volumen Anual Actual comprometido aguas abajo (Rxy) de 265.613, Mm³ que la hace ser considerada como no sostenible (DOF, 2016).

4.3 Descripción Técnica del SAART inicial P´TAR Santiago-Las Misiones.

El SAART existente inicial, cuya localización se muestra en la Figura 4.11, se constituía de 3 Bombas instaladas en un cárcamo húmedo, con motores de 100 H.P. cada una, para vencer una carga hidráulica de más de 100 metros de altura, desde su extracción del efluente tratado en la planta de tratamiento, en el nivel de la cota 423 m.s.n.m, y conducir un caudal comprometido de 90 lps para alimentar dos lagos artificiales del club de golf, al interior de la Hacienda Las Misiones, a través de una tubería de acero de 12” de diámetro y de más de 14 kilómetros de longitud total, dirigida hacia el Noroeste, con un primer punto de descarga en la cota de nivel 529 m.s.n.m del primer lago y un punto final de descarga en la cota 543 m.s.n.m. en el segundo lago; en tanto que el ART excedente sería vertido en la cuenca hidrológica número 33, denominada Río San Juan 1 (SADM, 2017).

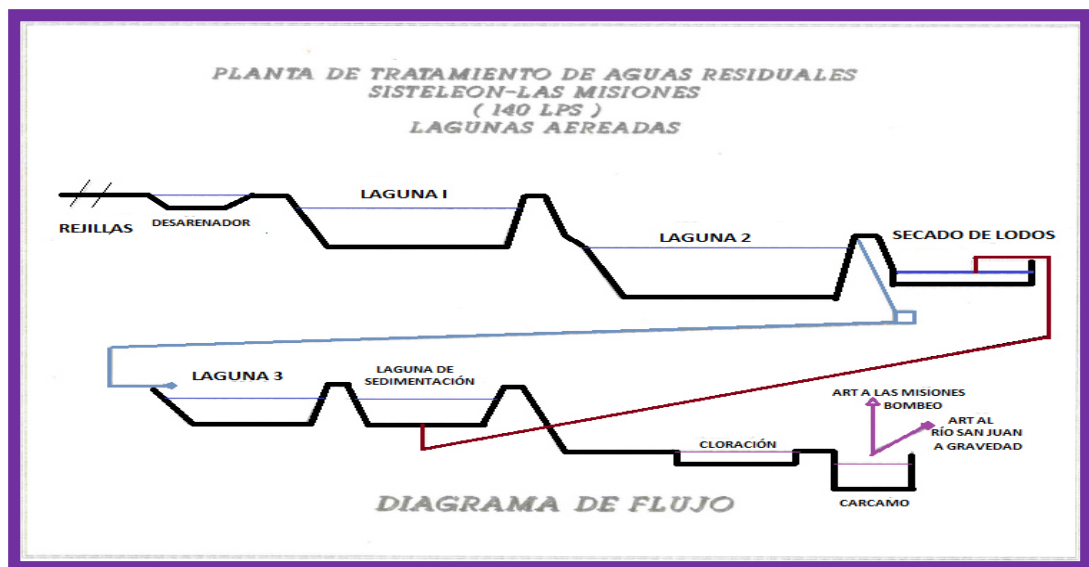
Su inicio es la Planta de Tratamiento de Agua Residual Santiago (P´tar Santiago), que se desarrolla a partir de la necesidad de contar con una fuente del agua que suministrará el caudal requerido por el desarrollo del Club Campestre y de Golf, Hacienda Las Misiones, ubicado en la comunidad de “El Faisán” del Municipio de Santiago; para lo cual, se formalizó un convenio con el entonces Sistema Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nuevo León (SISTELEON), a inicios de la década de 1990, para la construcción de una planta para el tratamiento de agua residual mediante “Lagunas Aireadas” con capacidad de hasta 140 lps, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 4.12, que sería localizada en el margen del Río San Juan, en la zona adjunta a la cortina de la Presa Rodrigo Gómez, La Boca, y cuyos efluentes tratados serían conducidos a través del SAART P´tar Santiago-Las Misiones (SADM, 2017).

Figura 4.11 Localización de zona de estudio en Santiago, Nuevo León.



Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos de la Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM. (SADM, 2017).

Figura 4.12 Diagrama de flujo general de P'tar SISTELEON-Hacienda Las Misiones.



Adaptación propia en base a datos de SADM (SADM, 2017).

El influente a tratar provendría del agua residual doméstica municipal del centro, comunidades aledañas y del Club Campestre Hacienda Las Misiones que contaban con el servicio de drenaje sanitario en el Municipio de Santiago, Nuevo León; aunado a un porcentaje estimado de 10% de agua residual industrial del tipo “textil”, originada por la empresa de Hilados y Tejidos “El Porvenir”, localizada en la comunidad de “El Cercado”; las cuales en su conjunto presentaban las características que se muestran en la Tabla 4.5 conforme a un muestreo efectuado en 1990 (SADM, 2017).

Tabla 4. 5 Caracterización del Agua Residual de Santiago, Nuevo León.

CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL DE: SANTIAGO, N. L.
(Obtenida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Las Misiones”
Fecha de muestreo del 10 al 16 de Septiembre de 1990

Parámetro	Identificación de la muestra								PROMEDIO
	A1 canal	A1 tubo	B1 canal	B1 tubo	C1 canal	C1 tubo	B2 canal	B2 tubo	
pH	7.59	7.85	7.98	8.24	7.61	7.95	7.2	7.58	7.76
Conductividad (micromhoos/cm)	800	880	880	580	740	720	570	880	706.25
Sólidos totales (mg/l)	792.5	517.2	542.0	594.1	556.0	592.0	520.0	574.9	623.54
Sólidos suspendidos (mg/l)	106.3	28.7	64.0	20.4	70.0	20.0	146.0	32.1	60.69
S. Suspendidos volátiles (mg/l)	93.8	26.7	52.0	20.4	54.0	14.0	62.0	20.8	44.21
Sólidos sedimentables (mg/l)	3	0.8	0.5	0.5	2.5	0.2	1.7	0.20	1.18
DBO (mg/l)	150	150	150	120	150	130	210	120	147.50
DQO (mg/l)	217.3	460.8	153.8	460.8	921.8	852.8	422.4	153.8	430.39
NTK (mg/l)	5.9	9.5	7.2	11.2	12.4	10.0	10.5	7.0	9.21
Alcalinidad total (mg/l CaCO3)	300	270	190	230	288	230	288	272	258.50
Dureza cálcica (mg/l CaCO3)	224	230	220	228	176	225	238	238	221.88
Cloruros (mg/l)	37.5	25	41.2	37.5	72.5	37.5	57.5	37.5	43.28
Fosfatos (mg/l)	14	6	n.d.	n.d.	23	n.d.	n.d.	14	14.25
Sulfatos (mg/l)	130	118	108	110	124	124	104	112	116.25
Nitratos (mg/l)	0.87	0.24	0.26	0.1	0.28	0.08	0.66	2.32	0.60
Sodio (mg/l)	114	101	108	104	100.5	98.5	96	98.5	102.56
Potasio (mg/l)	5.85	5.45	4.50	5.85	4.90	5.80	5.75	5.80	5.48
Magnesio (mg/l)	11.5	10.13	10.25	11.53	9.18	10.63	9.68	10.13	10.39
Grasas y aceites (mg/l)	6.0	6.0	2.8	2.8	1.4	1.4	2.8	2.8	3.25
Calcio (mg/l)	4.47	4.59	4.39	4.55	3.51	4.49	4.71	4.39	4.39
Sodio (mg/l)	4.96	4.39	4.7	4.52	4.37	4.28	4.18	4.28	4.48
Magnesio (mg/l)	0.95	0.63	0.84	0.98	0.76	0.87	0.80	0.83	0.83
RAS	3.01	2.66	2.91	2.72	2.99	2.51	2.52	2.60	2.75

Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM. (SADM, 2017)

Las instalaciones de la P'tar mediante lagunas aireadas, construidas en la comunidad de “Los Canelos-El Bañito”, aguas abajo de la cortina de la Presa Rodrigo Gómez (La Boca), en la zona del margen y origen del Río San Juan, fueron complementadas en virtud de que la calidad del ART requerida en el efluente por el Club Campestre Hacienda Las Misiones era

la que se muestra en la Tabla 4.6. Para no contar con problemas de malos olores, el sistema de riego de los campos de golf cuenta con lagos artificiales aireados, y se introdujeron especies de peces como lobina para utilizarlos como elementos bióticos de prueba de calidad del agua.

Tabla 4. 6 Requerimientos de calidad de ART por Hacienda Las Misiones.

Parámetro	Valor Requerido 1999
<i>SST mg/l</i>	20-30
<i>N.T.K mg/l</i>	15-25
<i>P.T. mg/l</i>	5-7
<i>C.E. µs/cm</i>	1200
<i>DBO5 mg/l</i>	15-30
<i>DQO5 mg/l</i>	70-110
<i>Turbiedad NTU</i>	18-32
<i>Surfactantes</i>	0,4-1,4

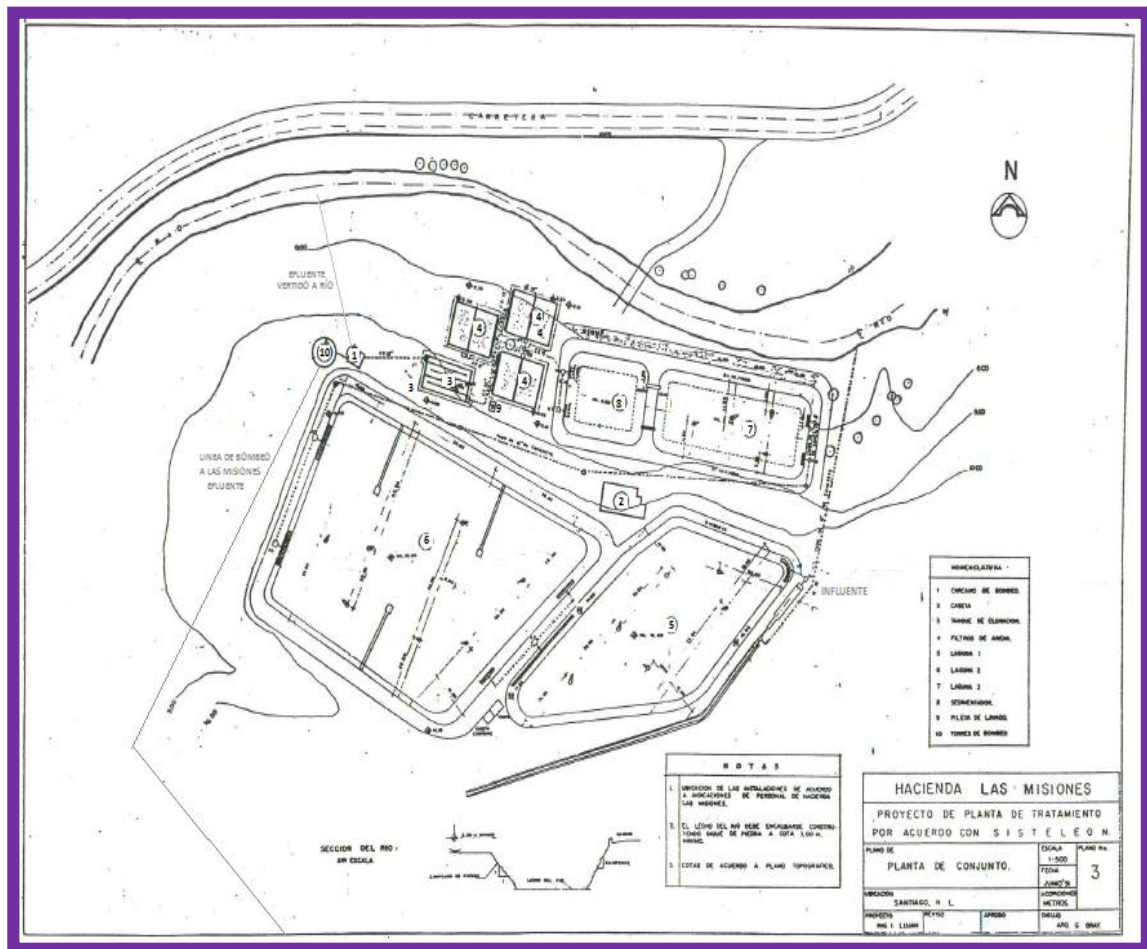
Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM. (SADM, 2017).

Por lo anterior, finalmente incluyeron filtros de arena y desinfección, y se construyeron las instalaciones de la Planta de tratamiento conforme al plano de instalaciones que se muestra en la Figura 4.13 (SADM, 2017).

En 1995, la Institución Pública Descentralizada, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey amplió su cobertura a todo el Estado, a partir de la desaparición del Sistema Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nuevo León (SISTELEON), y quedó a cargo de la administración y operación de la infraestructura existente; sin embargo, las condiciones administrativas de la fusión de ambos organismos y de la infraestructura de agua potable y alcantarillado, así como la presencia de una sequía atípica a finales de la década de los 90, requirió incluso una declaratoria de emergencia y apoyos del gobierno federal, enfocados a solucionar los problemas de suministro de agua potable (SADM, 2017).

Eventualmente y ya en la primera década del 2000, el saneamiento del agua residual fue un tema relevante para los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., lo que permitió que se efectuara la mejora en los procesos en la P'tar Santiago, mediante el cambio de Lagunas Aireadas a Lodos Activados; sin embargo, continuaban factores preponderantes para que los sistemas de "reúso" de ART de los municipios no metropolitanos fuesen catalogados como no prioritarios, incluyendo durante más de una década al SAART de la P'tar Santiago-Las Misiones (SADM, 2017).

Figura 4. 13 P'tar tipo Lagunas Aireadas SISTELEON-Hacienda Las Misiones.

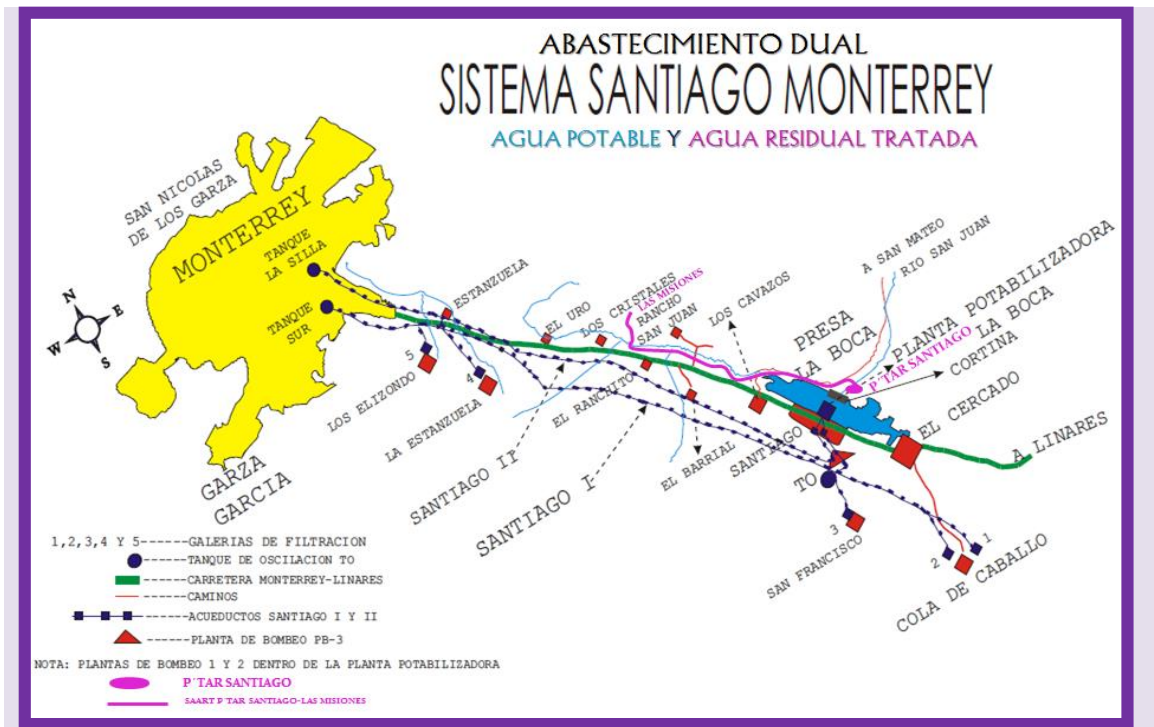


Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM. (SADM, 2017).

4.4 Planeación de EE en SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

La gestión hídrica en el Municipio de Santiago, Nuevo León se consideró como no sostenible, a pesar de contar con un sistema dual de abastecimiento de agua como se muestra en la Figura 4.14 y encontrarse inmersa en una zona de gran cantidad de recursos hídricos, por el déficit de más de 83 Mm³ de disponibilidad de agua (DOF, 2016), así que es imprescindible implementar acciones propias de la Ecoeficiencia, con el objetivo de coadyuvar en el equilibrio hidrológico y el desarrollo hídrico sostenible de la región (DOF, 2011).

Figura 4. 14 Esquema de sistema dual de abastecimiento de agua potable y ART de Santiago, N.L.



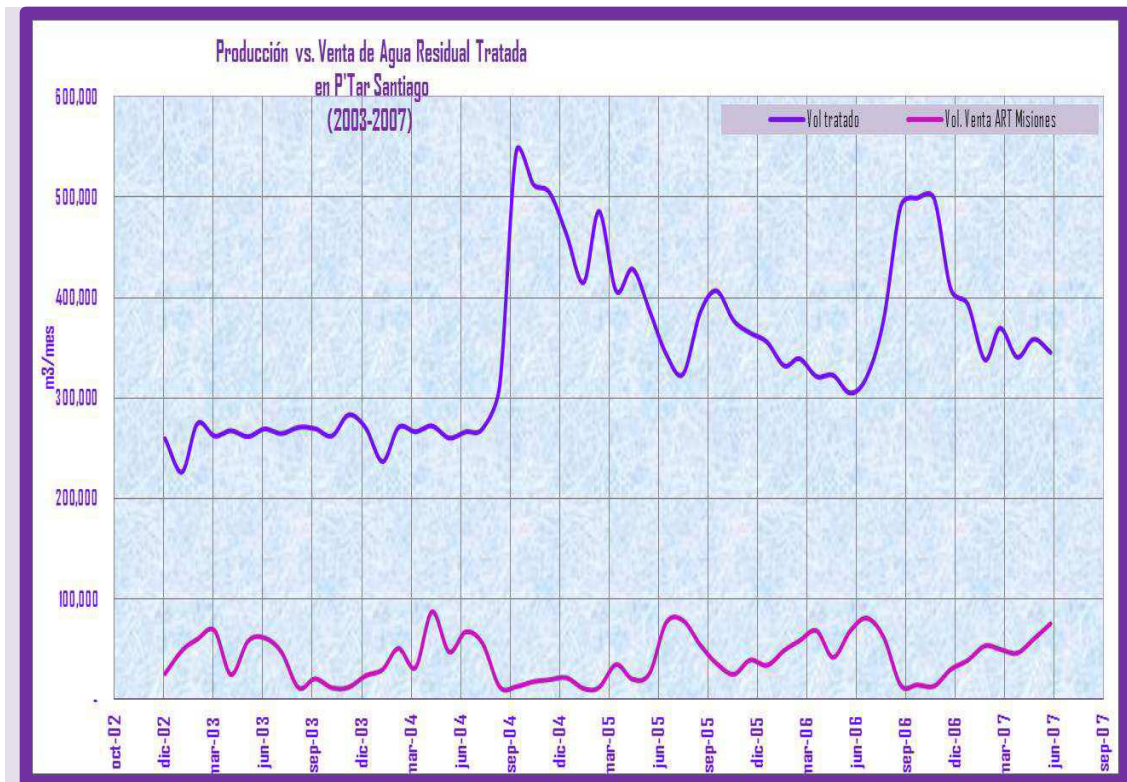
Elaboración propia a partir de información brindada por la Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento (SADM, 2017).

La optimización EE del SAART existente permitirá incrementar el aprovechamiento hídrico mediante el reúso directo planeado que representa un área de oportunidad para coadyuvar a la sostenibilidad hídrica de la región.

En el SAART P'tar Santiago-Las Misiones inicialmente existe un suministro para reúso directo planeado de 11.79% del volumen de los efluentes tratados de enero de 2003 a Junio de 2007 como se aprecia en la Figura 4.15. El promedio de la demanda real representó únicamente 15.47 lps, en tanto que el caudal máximo registrado en función de la demanda fue de sólo 33.14 lps, en marzo de 2004 y el mínimo de 4.13 lps, en febrero de 2005; valores que distan mucho de los 90 lps comprometidos ahora por los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., con base en un convenio inicial firmado en 1990 con SISTELEON (SADM, 2017).

El ingreso por la venta de ART en el ejercicio 2006 representó \$3; 444,867.00 pesos, con un promedio de consumo de alrededor de 16 lps a un precio que oscilaba entre los 6.40 - 7.20 pesos por metro cúbico, incluyendo el I.V.A. (SADM, 2017), por lo que se estima que la demanda pudiera incrementarse al menos a 50 lps, al incluir destinos de uso comerciales, e industriales, como sistemas contra incendio, entre otros, dado el desarrollo de la zona de estudio.

Figura 4. 15 Volúmenes de SAART P'tar Santiago-Las Misiones 2003-2007.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento (SADM, 2017).

4.5 Evaluación del proyecto de reúso de agua.

Se utilizó el método definido por Asano y su equipo, bajo perspectivas ingenieriles enfocadas a países desarrollados (Ver el Anexo A), y el método de evaluación recomendado por el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2017), a las empresas y organismos para identificar si las condiciones internas existentes son favorables para un proyecto destinado a reducir el uso, realizar el reúso y/o reciclaje del agua (Ver el anexo A).

Conforme al método del Ciclo de Planificación y Desarrollo de Infraestructuras Ecoeficientes impuesto por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (ECLAC), que es similar al método “planificar-hacer-verificar-actuar” (ESCAP, 2011), se definieron y realizaron los pasos estratégicos establecidos para su implementación en la infraestructura del SAART, dentro de las cuatro etapas esenciales que le integran. Como método, los resultados se reportan en el Anexo A.

Con base en los métodos de planeación utilizados, se puede establecer que la implementación de la Ecoeficiencia dentro del proyecto de reúso de agua en el SAART

P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco es lo suficientemente viable para cumplir sus objetivos en el ámbito hídrico (WBSCD, 2000), conforme a los fines establecidos en la presente tesis, para esta fase de planeación, así como en las siguientes para la implementación y evaluación.

Se trabajó en conjunto con el Comité de Calidad de la Dirección de Operación de SADM, el cual está integrado por el Director de Operación y los Gerentes de Producción, Distribución y Alcantarillado, quienes participan activamente en la implementación del sistema de Ecoeficiencia, tomando decisiones y asignando los recursos requeridos para el logro de los objetivos operativos planteados conforme a su Sistema de Gestión de la Calidad certificado bajo la Norma ISO 9001:2008, vigente desde 2005 (SADM, 2017).

4.6. Material y tecnología disponible.

Actualmente, la tecnología aplicada en la optimización EE de un SAART tiene como punto determinante los sistemas de bombeo que se requieren para lograr conducir los caudales hasta su destino. Estos sistemas se determinan sobre la base de especificaciones del diseño de sistemas públicos de agua potable y utilizan bombas de tipo de velocidad centrífuga vertical de turbina y flujo axial (AWWA, 2012).

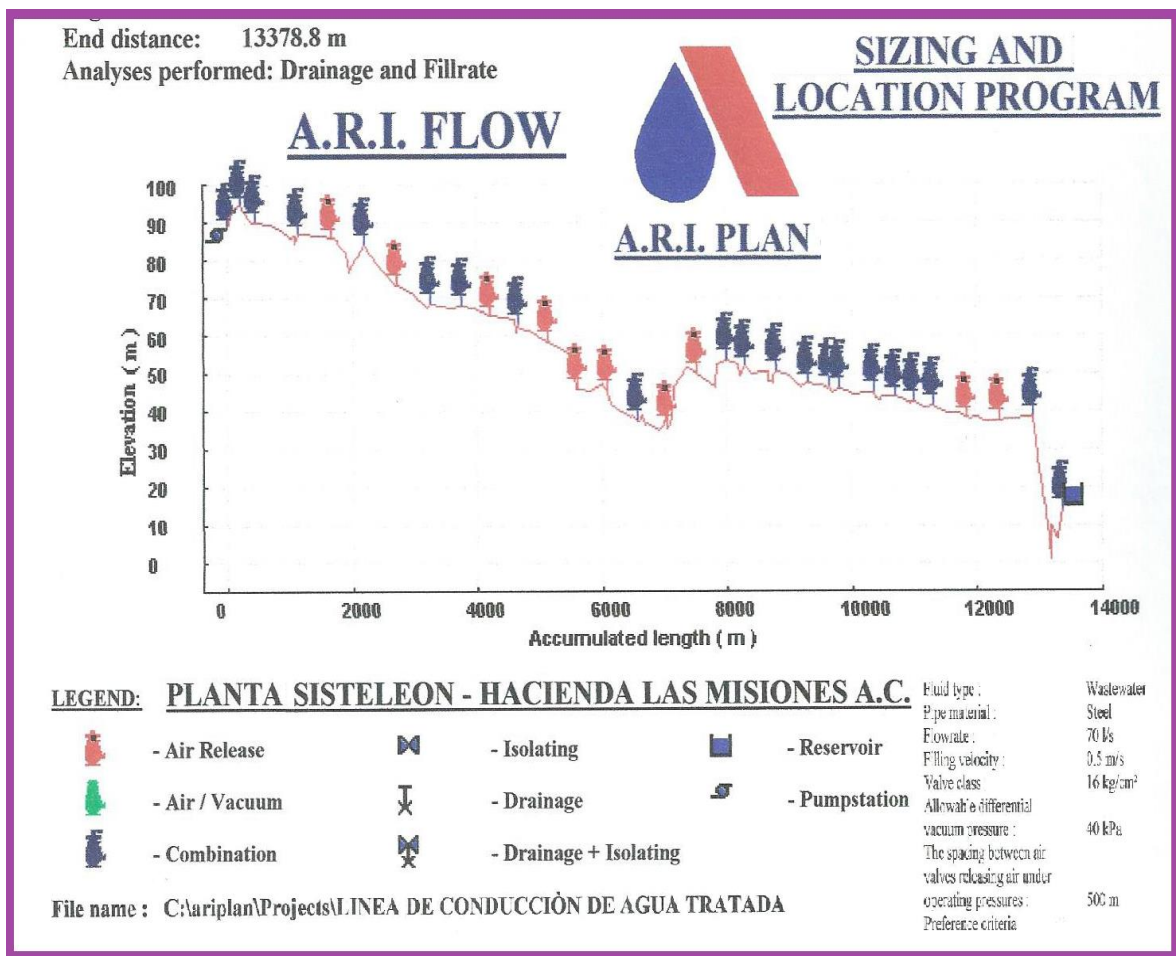
Estas bombas mueven el agua mediante un impulsor o múltiples pasos de impulsores de acero montados con un ajuste muy estrecho, que giran a gran velocidad a través de una flecha, dentro de una carcasa metálica, accionados por motores eléctricos de gran potencia, que desarrollan una gran energía para obtener altas presiones a eficiencias elevadas; sin embargo, la arena, el cieno u otras basuras presentes en el agua los desgastan rápidamente, incrementando sus costos e induciendo bajo rendimiento. La tecnología de bombas de alta eficiencia con impulsores de acero inoxidable de alta resistencia y mayor holgura permite la utilización de este tipo de bombas en un SAART, lo que le permite funcionar de forme EE y de manera óptima (AWWA, 2012).

En virtud de que el ART puede contener solidos suspendidos o disueltos e incluso arenas o basuras, es imprescindible contar con equipos de alta eficiencia y mayor durabilidad, ya que no se pueden utilizar bombas de vórtice, de pistón o rotativas que se utilizan principalmente en las P'tars para el bombeo de arenas, lodos espumas o agua residual sin atascarse con un alto caudal de capacidad, pero son generalmente de baja carga y se requeriría de una gran cantidad de re-bombes para llevar los efluentes tratados a su destino de reúso. (Metcalf & Eddy, 1994).

Los motores de las bombas se arrancan y paran por medio de un dispositivo que se conoce como arrancador, los que generalmente son de operación manual y requieren de operadores cerca de la bomba para operarla, los que se encuentran típicamente en los sistemas de reúso, por lo cual, para una optimización EE del SAART, se cuenta con tecnología disponible de sistemas de control de motores del tipo arrancador suave, convertidores de frecuencia variadores de velocidad, los que mantienen un monitoreo y control electrónico constantes, con alarmas y protecciones que evitan daños en el sistema electromotriz y que, aunado con sistemas de telemática, como la telemetría y automatización, reducen al mínimo la presencia de operadores (AWWA, 2012).

Adicionalmente a los métodos de planeación general para sistemas de reúso hídrico, mediante el uso del software de planeación ARI-Flow en su módulo A.R.I. Plan, se desarrolló un estudio con base en el perfil hidráulico y condiciones de la línea de conducción del SAART existente, P'tar Santiago-Las Misiones, cuyos resultados se muestran en la Figura 4.16 (ARI, 2006).

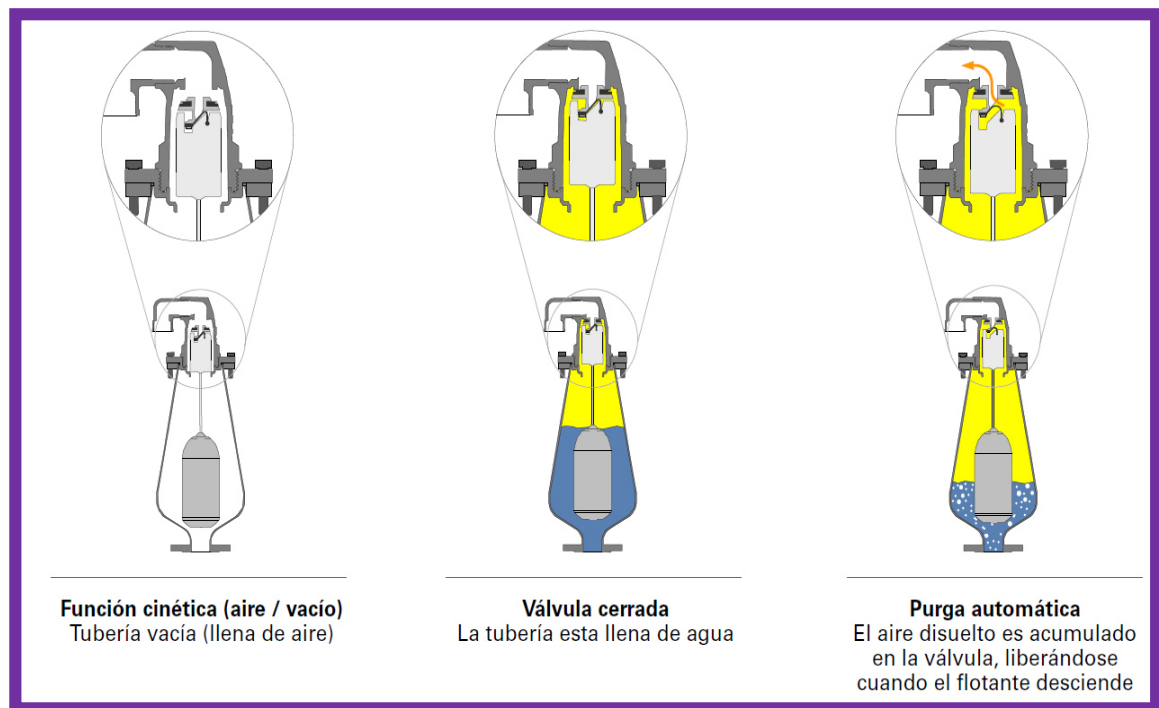
Figura 4. 16 Resultado de estudio A.R.I. Plan sobre el perfil hidráulico del SAART.



Fuente: (ARI, 2006).

Se consideraron presiones de 16 kg/cm² y un caudal a conducir de 70 lps, con una carga hidráulica a vencer mayor que los 100 metros de altura, que son las condiciones base para la toma de decisiones operativas y planes de acción EE's a implementar (ARI, 2006). Se determinaron los puntos críticos y recomendaciones generales de equipamiento mediante válvulas de admisión y expulsión automática de aire especializadas para agua residual como se aprecia en la Figura 4.17; ya que hasta hace años no era recomendada su instalación debido a que presentan fallas por obturación o mal mantenimiento, lo cual podría causar problemas de golpe de ariete (Metcalf & Eddy, 1994).

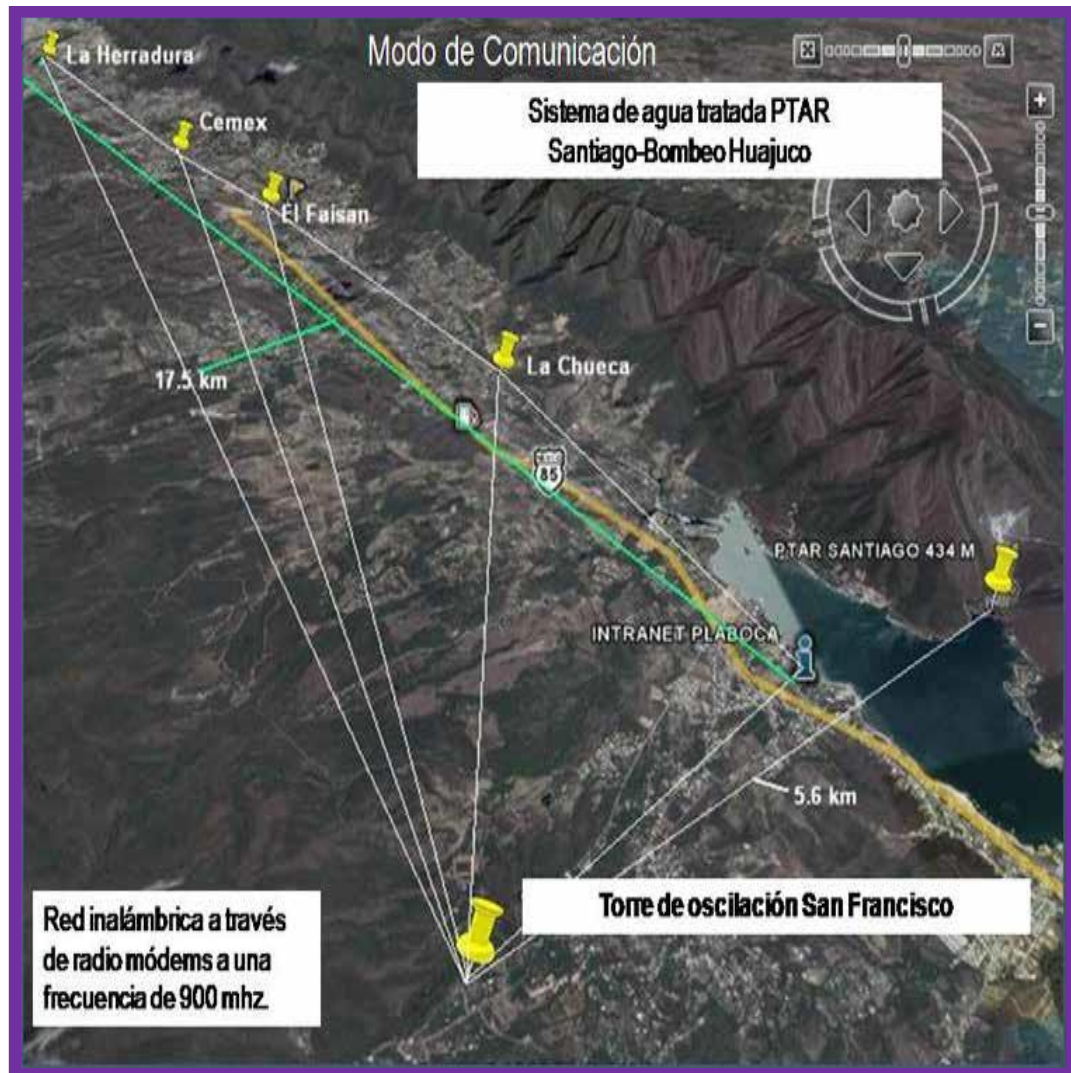
Figura 4. 17 Principio de operación de VAEA especializada AR.



Fuente: (DOROT, 2013).

Otra tecnología disponible en los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., es la Telemetría y Automatización, que permite conocer en tiempo real las condiciones operativas de la infraestructura hidráulica en la ZC-AMM, como la medición y el control a distancia de equipos de los sistemas de forma manual o automática, los niveles de los tanques, las condiciones de los controles y equipos de bombes, los medidores de flujo, la presión, los parámetros eléctricos y otros; así como también automatizar y controlar de manera remota su funcionamiento, control que se utiliza comúnmente en sistemas de abastecimiento de agua potable, por lo que su integración al SAART, objeto de este estudio significa una acción EE, que se proyecta de acuerdo a lo presentado en la Figura 4.18 (SADM, 2011).

Figura 4. 18 Esquema de Telemetría para el SAART P'tar Santiago-C. Huajuco.



Fuente: Informe de resultados 2011 (SADM, 2011).

De acuerdo con las cifras arrojadas por una muestra de 990 aparatos, el error de precisión en los micro-medidores en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ZC-AMM, respecto a lo que establece la NOM-012-SCFI-1994, es del 14.12%, cuando se establecen como límites permisibles de errores de medición el $\pm 5\%$ en el campo inferior. Los equipos son de diferentes marcas, clases y tipos, tales como mecánicos de velocidad y volumétricos de disco nutativo, que se incrementa por la obturación y el daño en las piezas internas, ante la presencia de sólidos (PSC, 2011). Otra tecnología disponible son los medidores electromagnéticos electrónicos como el marca Siemens modelo Mag 8000 Avanzada, que se muestra en la Figura 4.19, cuyos principios de operación se basan en la Ley de Faraday, y el de presión diferencial del principio del Venturi, ya que no poseen partes móviles y son de mayor precisión (CONAGUA, 2007d).

Figura 4. 19 Medidor electromagnético electrónico.

Fuente: (SIEMENS, 2017).

Los materiales y las tecnologías mencionadas y otras más disponibles pueden ser consideradas e implementadas para la optimización de la infraestructura urbana de reúso hídrico, y su operación y mantenimiento es viable bajo las condiciones de planeación establecidas por el Comité de Calidad de la Dirección de Operación en su sistema de gestión de la calidad certificado (SADM, 2017).

4.7. Determinación de la línea base de Ecoeficiencia.

Una vez establecido como marco de monitoreo y evaluación el propio Sistema de Gestión de la Calidad certificado en la Norma ISO-9001:2008a través del Comité de Calidad de Operación de SADM, así como la generación de un diagnóstico del SAART, se realizó el desarrollo de la línea base, según el ejercicio 2006, considerando la información disponible del SAART inicial existente y su evaluación mediante indicadores asociados con la sostenibilidad hídrica recomendados en las Normas ISO 21510, 24511 y 24512 en su versión Mexicana, siguiendo las pautas del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016), así como evaluar el desempeño ambiental mediante la medición del uso de recursos mediante indicadores (ESCAP, 2009b).

Se realizó el análisis de evaluación mediante los indicadores relacionados con el desarrollo hídrico sostenible aplicable establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en la Serie de Normas ISO 24500, en su versión mexicana, a fin de evaluar el nivel de Ecoeficiencia del SAART P'tar Santiago-Las Misiones existente inicial, cuyos resultados se muestran en el Anexo B.

El SAART P'tar Santiago-Las Misiones fue diseñado y construido aplicando criterios propios de un Sistema de Agua Potable. El sistema reutiliza parcialmente un poliducto de hidrocarburos de acero de 12", con más de 25 años de antigüedad. No se tienen antecedentes que confirmen si esta infraestructura urbana es EE, sostenible y que contribuya en el desarrollo del RH local, debido a que estaba conformado por componentes, equipos, procesos y recursos propios de los sistemas de agua potable. Tampoco se contaba con datos suficientes que validasen su cumplimiento para las necesidades enfocadas al cuidado ambiental en la utilización de recursos naturales que aseguren la sostenibilidad en el sistema.

Para incrementar los valores de los indicadores y mejorar la calidad del servicio, se establecieron acciones Eco-eficientes enfocadas a dar solución a problemas genéricos de infraestructura y operación en SAART identificados en la Tabla 2.12 a fin de:

1. Mejorar las condiciones de las estaciones y equipos de bombeo.
2. Modificar la operación de las líneas de distribución vivas equipándolas con instalación de almacenamiento y regulación de caudal de agua para mitigar el desabasto y la reducción de presión en horas pico de demanda.
3. Instalar equipos adecuados de admisión y expulsión de aire y medición de flujo para garantizar su correcta y eficiente operación.
4. Solicitar al usuario requerimientos mínimos de instalaciones para la recepción del agua en sus instalaciones dependiendo de la necesidad de post-tratamiento que cada requieren uno de ellos.
5. Capacitar al personal para brindar un mejor servicio y atender de manera adecuada las necesidades de los usuarios.
6. Incluir en los documentos de contratación los términos claros mediante los que se contrata el servicio, dejando de manifiesto de manera detallada los alcances y responsabilidades de ambas partes, así como el desahogo de eventuales contingencias.
7. Incrementar la difusión del reuso del agua en la zona para el incremento de usuarios coordinados con las cámaras de agrupación de las industrias y el comercio.

Posteriormente se realizó el levantamiento de datos directamente *in situ* para las fases de planeación, implementación y verificación del modelo de Ecoeficiencia trabajándose en las siguientes actividades:

1. Recopilación y análisis de información.
2. Campaña de medición de presiones y caudales.
3. Medición de variación de la demanda de agua en la red.
4. Consulta e integración de consumos.
5. Información de errores de exactitud de micro-medidores.
6. Información de ocurrencia de fugas.

7. Levantamiento de cajas de válvulas.
8. Levantamientos de componentes hidráulicos.
9. Vinculación de toma domiciliaria.
10. Innovación y Desarrollo Tecnológico.

4.8 Implementación del modelo de Ecoeficiencia en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Realizada la fase de planeación, se documentan las acciones EE’s implementadas en los diferentes componentes del SAART existente inicial P´tar Santiago-Las Misiones comprendidas en el período de diez años entre los ejercicios 2006 a 2016, donde este último se tomó para la evaluación de resultados finales.

El funcionamiento del SAART inicial es principalmente a través de una línea de conducción del tipo red abierta presurizada por impulsión mediante bombeo y carece de tanques de almacenamiento y regulación de caudales. La red opera de manera continua dependiendo del servicio demandado por el único usuario, con los caudales excedentes de la demanda vertidos al cuerpo receptor.

La Dirección de Operación, a través de los acuerdos sostenidos en las Revisiones directivas de su Comité de Calidad, estableció planes de acción generales conforme a los métodos de WBSCD, ECLAC y de Asano, siendo este último el considerado más específico en los aspectos de ingeniería, habiendo de señalar que dichos planes fueron cambiantes, dada la rápida evolución de la información, los conocimientos y la realidad de las ciudades de Santiago y Monterrey. A continuación se resume los desafíos comunes en la implementación del SAART:

1. Se integró un equipo adscrito a la Gerencia de Distribución para el análisis y mejora, mediante la implementación de acciones de Ecoeficiencia en el Sistema P´tar Santiago-Las Misiones y la ampliación de cobertura del suministro de los efluentes tratados en la P´tar Santiago hasta el Cárcamo Huajuco, integrando el Sistema P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.
2. Se gestionó, con el apoyo de la Dirección de Proyectos Sustentables, acciones coordinadas para el incremento de los clientes y para el intercambio de suministro de agua de primer uso por ART en la zona, como acciones fundamentales para la sostenibilidad hídrica regional.
3. Se gestionó con la Dirección de Ingeniería y Comercial las obras de rehabilitaciones mayores y equipamientos tecnológicos del sistema P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco,

que permitiesen su optimización y trasladar los cambios a los nuevos sistemas en proyecto y a los existentes.

4. Se adoptó la combinación de la primera y la tercera alternativa del método de Asano, por su enfoque ambiental en la búsqueda de alternativas de sostenibilidad hídrica; así mismo, y dado que no existían bases de diseño para los SAART en México, se recomendó el análisis de implementación de acciones Eco-eficientes aplicables a dichos sistemas, a partir de la capacitación general de personal profesional en Israel.
5. Se realizó la optimización EE del SAART P'tar Santiago-Las Misiones, incluyendo la rehabilitación del Cárcamo El Faisán y su reconexión con la línea de acero de 12" de diámetro del antiguo oleoducto Linares-San Rafael, para interconectarse con el Cárcamo Huajuco, y establecer un sistema ampliado y redundante denominado P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, mediante el cual se incrementará la cobertura de reúso de los efluentes tratados por la P'tar Santiago a toda la zona Noroeste del Municipio de Santiago y a la Zona Huajuco del Sur de Monterrey.
6. Se evaluó el nivel de Ecoeficiencia final del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco a partir de los resultados obtenidos al término de la implementación en el ejercicio 2016 mediante los indicadores relacionados con el desarrollo hídrico sostenible establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en la Serie de Normas ISO 24500, en su versión mexicana, para determinar si las acciones realizadas cumplieron los objetivos inicialmente planteados sobre el desarrollo hídrico sostenible, mediante el reúso hídrico a través de la EE como herramienta.

4.8.1 Acciones de EE implementadas en la Fuente y Tratamiento del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Para afrontar los desafíos comunes en los Sistemas de Abastecimiento de ART, en los componentes de la Fuente de agua no convencional y de Tratamiento, que son en su conjunto la P'tar Santiago, se realizaron las acciones siguientes:

I. Identificación de los Problemas:

- a) La P'tar Santiago es del tipo terminal, cuya infraestructura no cuenta con instalaciones previstas para mitigar la recepción de descargas con alto nivel de contaminantes y mitigar la variación del flujo horario del agua residual generada por presencia de descargas industriales o flujos extremos derivados de fenómenos meteorológicos, por lo que es muy difícil tener un control adecuado en cuanto a la variación de flujo y calidad del ART en cuanto a nutrientes y parámetros de calidad, que presenta deterioro por el desajuste en los procesos de tratamiento como se muestra en la Figura 4.20, generándose un crecimiento intenso de algas en los cárcamos o depósitos abiertos que dañan equipos de bombeo por

atascamiento, derivado de los tiempos de retención y las altas cargas de nutrientes, típicas del ART en la zona previa al cárcamo de bombeo.

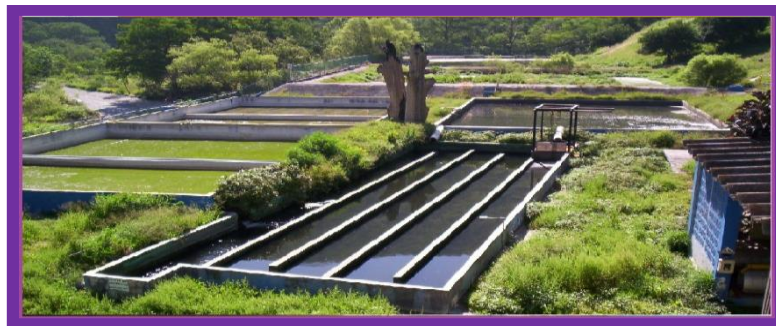
Figura 4. 20 Presencia de sólidos y lodos en cámara de contacto de cloro en P'tar Santiago.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) Falta de instalaciones de almacenamiento y regulación suficiente para satisfacer la demanda, al no contar con instalaciones suficientes para regular el flujo, como se muestra en la Figura 4.21, cuando existe variación horaria en la calidad y cantidad del ART, así como para la desinfección adecuada que puede generar rebrotes microbianos, nitrificación, olor, coloración, cambio de PH y temperatura y pérdida de desinfectante.

Figura 4. 21 Cámara de contacto de desinfección inicial en P'tar Santiago.

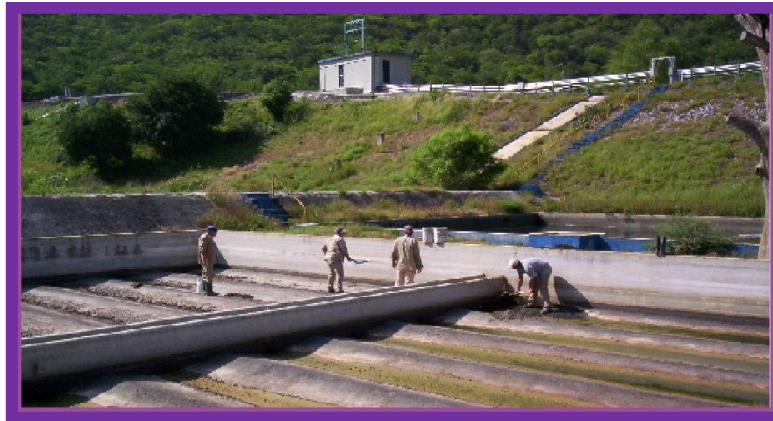


Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

II. Acciones ecoeficientes implementadas:

- a) **Conforme al objetivo de reducir el consumo de recursos mediante acciones de reciclaje**, se reutilizó la infraestructura de los filtros de arena de las lagunas aireadas pre-existentes en la P'tar Santiago, a fin de acondicionarlas como instalaciones de almacenamiento y regulación en la zona adjunta a la cámara de contacto de cloro, como se aprecia en la Figura 4.22, para alcanzar una capacidad de almacenamiento y regulación de 2,100 m³, con un tiempo de retención de alrededor de 8 horas, considerando la capacidad instalada de producción de 17,280 m³/día y mejorando la calidad del agua suministrada, brindando servicio a los usuarios las 24 horas.

Figura 4. 22 Trabajos para reutilización de estructuras en P'tar Santiago.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) **Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos**, se modificaron los procesos de desinfección de luz ultravioleta por cloro-gas, reubicando las instalaciones, como se aprecia en la Figura 4.23y ajustando la dosificación para asegurar al menos un valor de 0,5 mg/l de cloro residual libre en la zona más alejada del sistema, a fin de evitar el ataque de cloro en infraestructuras y la formación de trihalometanos derivados de altos valores de dosificación; pero que, a su vez, sea suficiente para brindar seguridad ante contactos no intencionados o durante trabajos de mantenimiento, para seguridad del personal operativo y mejorando la calidad del agua suministrada a los usuarios.

Figura 4. 23 Sistema de desinfección mediante cloro gas en P'tar Santiago.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

4.8.2 Acciones de EE implementadas en la extracción y control del transporte del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Para afrontar los desafíos comunes en los Sistemas de Abastecimiento de ART, en los componentes de la Extracción y control del transporte, que son en su conjunto las estaciones de bombeo, centro de control y telemetría y automatización, se realizaron las acciones siguientes:

I. Identificación de los Problemas:

- a) Presenta un grado de impulsión no efectiva para la conducción del agua hasta el lugar del destino de uso, al contar con una sola estación de bombeo cuyas condiciones de diseño y equipamiento sirvieron para cumplir las especificaciones para agua potable, ante la necesidad de elevar el agua a más de 100 metros de columna, lo que derivaba también en una distribución de presiones inconsistente (presiones bajas o sobrepresiones), sin tener sistemas de protección eficientes, de desgaste previos ni posteriores que previnieran la presencia de sólidos o materiales que ocasionan obturaciones o atascamiento en los impulsores de las bombas, derivado de la presencia intensa de algas y basura, como se aprecia en la Figura 4.24, y una reducción en el rendimiento de los equipos, forzados a una operación continua ante la incapacidad de satisfacer la demanda que originan mayores costos de operación y deterioro prematuro de equipos e instalaciones.

Figura 4. 24 Cedazo de bomba dañada por atascamiento en P'tar Santiago.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) Daños en el sistema de control y fugas en las líneas de conducción derivados de un sistema de operación de motores constituido por arrancadores manuales que se aprecian en la Figura 4.25 del tipo on-of, en donde si el usuario suspende el reúso del ART en el riego de áreas verdes y campos de golf mediante el cierre de válvulas de llegada a los lagos, genera intensos golpes de ariete que afectan los equipamientos y los componentes del SAART.

Figura 4. 25 Centro de control y motores de cárcamo inicial en P'tar Santiago.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- c) Alta corrosividad del agua por contenido orgánico y oxígeno disuelto que impacta a los componentes metálicos de los equipos de bombeo y de las válvulas de control.

II. Acciones ecoeficientes implementadas:

- a) **Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos**, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos, se renovó el centro de control de motores del cárcamo de la P'tar Santiago, instalando arrancadores suaves y variadores de velocidad, así como la rehabilitación de las bombas, equipándolas con impulsores de acero inoxidable e instalando filtros especializados para mejorar la calidad del ART, reduciendo la presencia de sólidos ante eventualidades operativas, así como equipamiento con válvulas de alivio y de admisión-expulsión de aire especializadas para agua residual tratada, como se aprecia en la Figura 4.26.

Figura 4. 26 Conjunto de Centro de Control Electromotriz y protección en Cárcamo de P'tar.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, se construyó y puso en operación el Cárcamo de re-bombeo La Chueca o Asturias, como se aprecia en la Figura 4.27, con el que no sólo se dividió en dos secciones la línea de conducción inicial del SAART P'tar Santiago-Las Misiones, sino que se redujo la intensidad de las presiones a 6 k/cm², aunado de equiparla con un sistema electromotriz más eficiente, controlado por arrancadores suaves equipados por control telemático y automatizado para lograr la capacidad de suministrar el 100% de la demanda contratada por el usuario.

Figura 4. 27 Cárcamo La Chueca (Asturias) construido en SAART.

	DATOS GENERALES NOMBRE: Bombeo UBICACIÓN: Ubicada dentro de las instalaciones del Cárcamo el Faisán sobre calle 2 de abril y carretera Nacional. DESCRIPCIÓN: 3 Bombas Sumergibles de 8", válvula de aire de 4", 2 coples de 8", 4 válvula de compuerta de 8", 3 bombas 8", válvula de aire ¾, 2 check de 4", 2 válvula de compuerta 12".		
	DETALLES DEL REGISTRO DIMENSIONES: LARGO: _____ TIPO DE REGISTRO: Intemperie ANCHO: _____ MATERIAL: _____ ALTURA: _____ ESPESOR DE LOSA: _____ OBSERVACIONES: _____		
 	DETALLES DE LAS VALVULAS VALVULA DE AIRE: VALVULA DE COMPUERTA: VALVULA CHECK:		
	MARCA: ARI MARCA: Walworth MARCA: BERMAD MODELO: MODELO: WOG200 MODELO: DIAMETRO: 4" DIAMETRO: 8"Y 12" DIAMETRO: 12"		
OBSERVACIONES: CARCAMO LA CHUECA (ASTURIAS) CONSTRUIDO			
VISTA GENERAL			

Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- c) **Conforme al objetivo de reducir el consumo de recursos mediante acciones de reciclaje, y extensión de la durabilidad de los productos**, se rehabilitó el Cárcamo de re-bombeo El Faisán, que se aprecia en la Figura 4.28 y sus equipamientos como bombas equipadas con impulsores de acero inoxidable, motores de alta capacidad, sub-estación eléctrica y arrancadores de los motores, mediante la cual se genera la impulsión necesaria, incrementando la cobertura del SAART existente inicial, hasta la zona sur del Municipio de Monterrey.

Figura 4. 28 Cárcamo El Faisán Rehabilitado.

	DATOS GENERALES NOMBRE: Bombeo UBICACIÓN: Ubicada dentro de las instalaciones del Cárcamo el Faisán sobre calle 2 de abril y carretera Nacional. DESCRIPCIÓN: 2 Bombas Sumergibles de 8", válvula de aire de ¾, 2 coples de 8", 2 válvula de compuerta de 8", 2 bombas sumergibles 4", válvula de aire ¾, 2 check de 4", 2 válvula de compuerta 4".		
	DETALLES DEL REGISTRO DIMENSIONES: LARGO: _____ TIPO DE REGISTRO: Intemperie ANCHO: _____ MATERIAL: _____ ALTURA: _____ ESPESOR DE LOSA: _____ OBSERVACIONES: _____		
 	DETALLES DE LAS VALVULAS VALVULA DE AIRE: VALVULA DE COMPUERTA: VALVULA CHECK:		
	MARCA: Vamex MARCA: Walworth MARCA: VAMEX MODELO: MODELO: WOG200 MODELO: DIAMETRO: ¾" DIAMETRO: 8"Y 4" DIAMETRO: 8"Y 4"		
OBSERVACIONES: CARCAMO FAISÁN REHABILITADO			
VISTA GENERAL			

Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- d) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, enlazó el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco con el SAART P´tar San Rafael-Cárcamo Huajuco-Valle Alto, a través de dicho cárcamo, como se aprecia en la Figura 4.29, con el cual es posible contar con redundancia en caso de fallas o condiciones adversas, a fin de asegurar un servicio continuo a los usuarios existentes y potenciales de ambos sistemas.

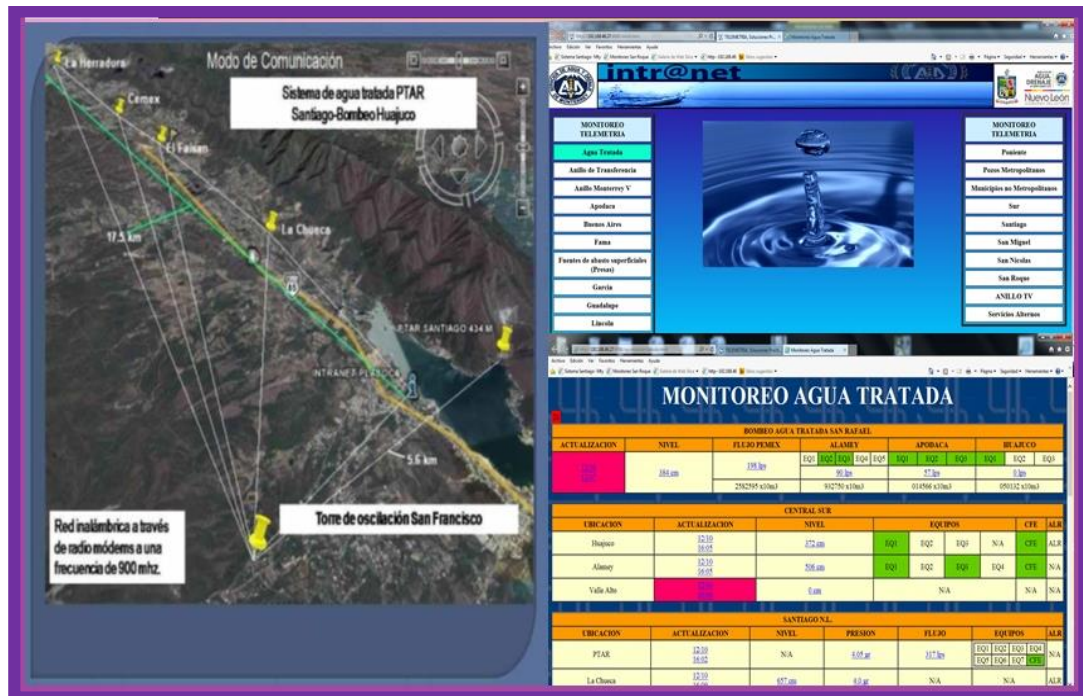
Figura 4. 29 Cárcamo Huajuco, enlace entre P´tar Santiago y P´tar San Rafael.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- e) Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos, se modernizaron los procesos monitoreo y control del SAART mediante la implementación de herramientas tecnológicas de telemetría y automatización, que permiten el monitoreo de parámetros de equipamientos y componentes así como su operación a distancia, cuyo esquema general se aprecia en la Figura 4.30 para brindar seguridad, que a su vez permite mejorarla calidad del servicio a los usuarios.

Figura 4. 30 Sistema de Telemetría y automatización para SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

4.8.3 Acciones de ecoeficiencia implementadas en el SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Para afrontar los desafíos comunes en los SAART, en el componente de la línea de conducción y distribución hasta los usuarios, se realizaron las siguientes acciones:

4.8.3.1 Identificación de los Problemas:

- a) La línea de conducción y distribución carece de alcance hasta zonas potenciales de nuevos usuarios y de equipamiento; posee parámetros diseñados con las especificaciones para sistemas de abastecimiento de agua potable, los que ante las variaciones en la calidad del agua, principalmente ante la cantidad de sólidos disueltos y el tamaño de éstos, operan en forma inadecuada o incluso dejan de operar, ocasionando fallas tales como fugas o daños a equipos, siendo un ejemplo de éstos las válvulas de control automático y las válvulas de admisión y expulsión de aire inadecuadas como se muestra en la Figura 4.31.

Figura 4.31 Válvulas inadecuadas de admisión-expulsión de aire en SAART.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) Riesgo de conexiones cruzadas con líneas de agua potable, como se aprecia en la Figura 4.32, al no estar debidamente identificados los trazos, las líneas, los registros y el equipamiento del SAART inicial existente.

Figura 4. 32 Tuberías de agua potable y agua residual tratada no identificadas.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- c) Las conexiones y tomas domiciliarias no son adecuadamente equipadas para el tipo de uso y calidad del agua y estar sobredimensionadas, como se muestra en la Figura 4.33; al no contar con una selección especializada de válvulas de control automático de reducción de presión, de admisión-expulsión de aire, de apertura y cierre on-off que permitan un servicio y mantenimiento eficiente.

Figura 4. 33 Conexión sobredimensionada y equipamiento inadecuado en SAART.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- d) Medición inadecuada de consumos de agua mediante equipos sobredimensionados y de tipo volumétrico mecánico, con piezas internas que se obstruyen y atascan, como se muestra en la Figura 4.34; incluso con filtros, aumentando sus costos de mantenimiento, aunado con cuantificaciones inferiores del consumo real, al no poder medirse con el equipo, ante el consumo mínimo por llenado de las cisternas o lagos lentamente manteniendo nivel.

Figura 4. 34 Medidor sobredimensionado y obstruido en SAART.



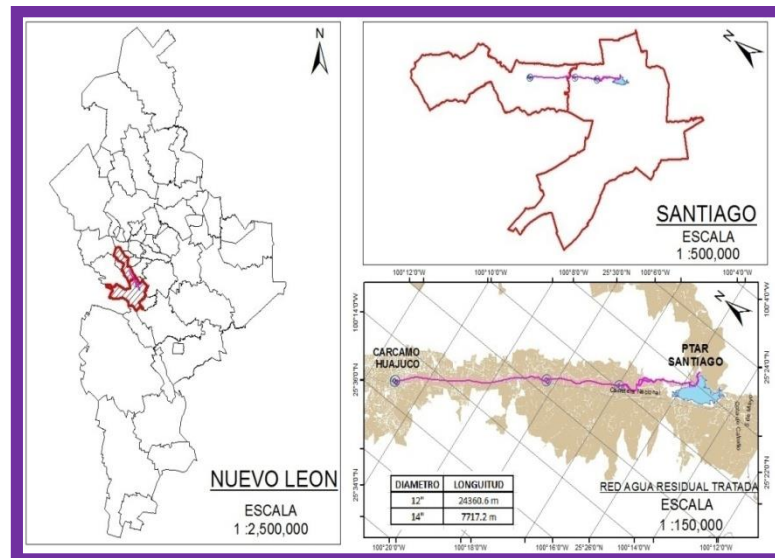
Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- e) Se carece de instalaciones de desagüe para la limpieza de las tuberías por la acumulación de sólidos.

4.8.3.2 Acciones ecoeficientes implementadas:

- a) **Conforme al objetivo de reducir el consumo de recursos mediante acciones de reciclaje, y la extensión de la durabilidad de los productos**, se reacondicionó y equipó el poliducto existente de Acero de 12" de diámetro fuera de operación propiedad de PEMEX, que se tiene en comodato por los Servicios de Agua y drenaje de Monterrey, I.P.D., para su uso en la conducción de ART, a fin de extender a más de 24 kilómetros la línea de conducción y la cobertura del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, para el aprovechamiento de los efluentes tratados en la P'tar Santiago, hasta la zona sur del Municipio de Monterrey, con lo que se logró la interconexión entre el cárcamo La Chueca y el Cárcamo Faisán, definiéndose el esquema que se aprecia en la Figura No. 4.35, y con lo cual se tuvo un ahorro de alrededor de 25 millones de pesos en obras de infraestructura.

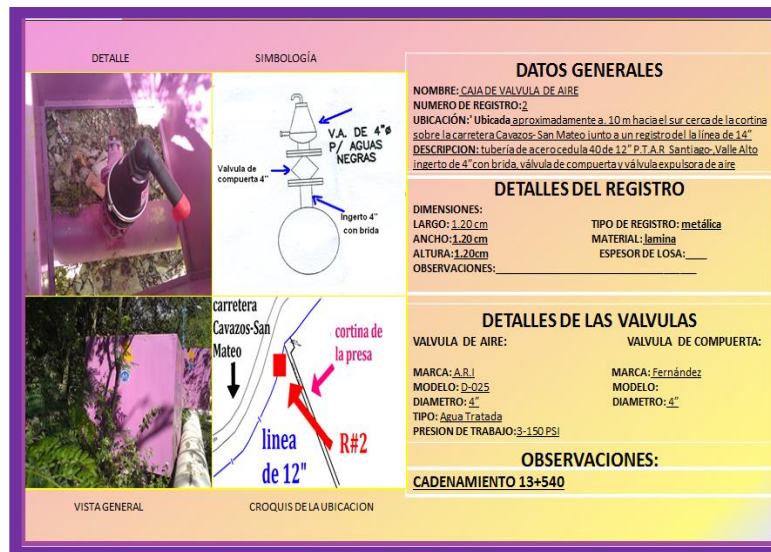
Figura 4. 35 Ampliación de línea de conducción del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.



Elaboración propia a partir de datos de Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- b) **Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, al evitar fugas de ART, se equipó la línea de conducción desde la P'tar Santiago hasta el Cárcamo Huajuco, mediante válvulas de admisión-expulsión de aire, cuyo ejemplar se aprecia en la Figura 4.36, así como otros tipos de válvulas como de control automático de presión y alivio, válvulas de control on-off especializadas para agua residual tratada, así como el monitoreo de la misma para asegurar el control efectivo y evitar fugas de agua mediante balances hídricos del SAART.

Figura 4. 36 Ejemplo de equipamiento con VAEAS especializadas SAART P'tar- Santiago-Cárcamo Huajuco.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- c) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, se efectuó la estandarización para la identificación de equipamientos y tuberías de conducción de ART, mediante el color púrpura normado de tono magenta, así como la señalización de su trazo, a fin de evitar el uso no intencionado y el cruce con líneas de agua potable, lo cual se puede visualizar en la Figura 4.37y en los documentos que se generaron para el control de mantenimientos y seguimiento al SAART; contribuyendo, a su vez, a un mejor servicio para los clientes y usuarios.

Figura 4. 37 Pintura y señalización de trazo de SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- d) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, se optimizaron los requerimientos de conexiones y tomas domiciliarias para el tipo de uso y calidad del agua, según se aprecia en la Figura 4.38, con un equipamiento de válvulas especializadas de admisión-expulsión de aire y de control automático de presión, entre otros, que permite a los usuarios un servicio y mantenimiento más eficiente, acorde con sus requerimientos.

Figura 4. 38 Equipamiento de toma domiciliar en el SAART.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- e) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, se efectuó la instalación y estandarización de selección de medidores de tipo electromagnético, cuyo ejemplo se puede visualizar en la Figura 4.39, con lo cual se evita la obturación y daño, y se mejora el servicio para los usuarios existentes y clientes potenciales.

Figura 4. 39 Medidores electromagnéticos en el SAART.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

- f) **Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos**, se construyeron desagües para mantenimiento y limpieza de la línea, estableciéndose que éstos deberán ser vertidos en sistemas de alcantarillado, como se aprecia en la Figura 4.40.

Figura 4. 40 Desagües estandarizados en SAART.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

4.8.4 Acciones de ecoeficiencia implementadas para mejorar el beneficio económico en el SAART P´tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Para afrontar los desafíos comunes en los Sistemas de Abastecimiento de ART respecto a la gestión de recursos y promoción es necesaria la aplicación de estrategias de negocios para el desarrollo hídrico sostenible, se realizaron las acciones siguientes:

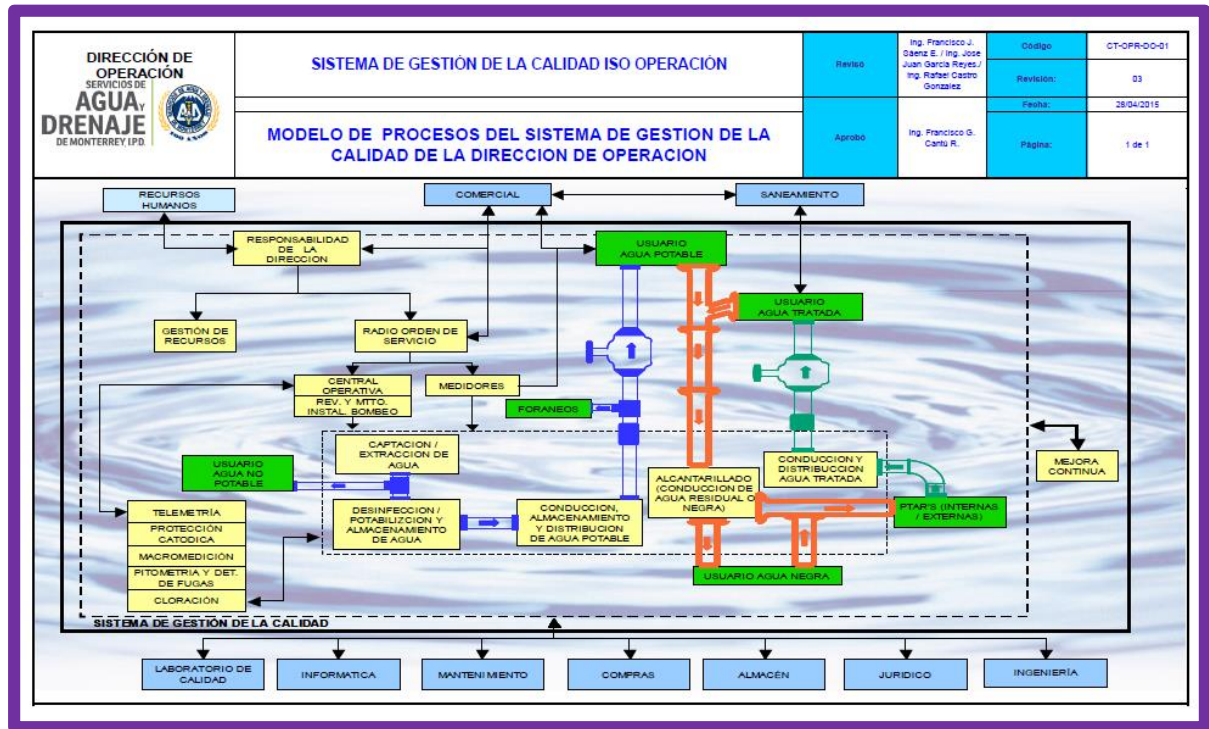
4.8.4.1 Identificación de los Problemas:

- a) La ampliación de la cobertura del SAART hasta el Cárcamo Huajuco, para el aprovechamiento de los efluentes tratados por la P´tar Santiago por clientes potenciales, como parte del desarrollo hídrico sostenible en la región representa un costo de inversión elevado, pero es necesario para la gestión integral del agua, dada las condiciones de nula disponibilidad de recursos hídricos en la zona.
- b) Existe una limitada promoción y asistencia técnica hacia el usuario con relación a la calidad del ART disponible, y en relación con el reúso potencial que se le puede otorgar a ésta para otros destinos de uso, aparte del de riego de áreas verdes y campos de golf, así como en la información sobre los requerimientos para su contratación y en el seguimiento una vez contratado el servicio.

4.8.4.2 Acciones ecoeficientes implementadas:

- a) ***Conforme al objetivo de reducir el impacto ambiental mediante acciones para minimizar vertimientos y control de residuos, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos,*** se realizaron acuerdos para incluir parte de las acciones realizadas dentro del financiamiento de las obras a través de crédito del NADBANK, así como el uso de recursos propios de los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., como se mencionó en las fases de la planeación, hasta llegar a concretar los planes de acción, a fin de que se lograra la gestión integral del agua, conforme a lo establecido en modelo de procesos del sistema de gestión de la calidad, que se muestra en la Figura 4.41.

Figura 4. 41 Modelo de procesos de gestión integral del agua en SADM.



Fuente: Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM (SADM, 2017).

b) **Conforme al objetivo de suministrar más valor con el producto o servicio, y maximizar el uso sostenible de los recursos hídricos**, se efectuaron las acciones de promoción coordinada para la difusión de los servicios de suministro de ART en la zona, logrando la contratación de 7 nuevos clientes, a través del aumento de la cobertura y el desarrollo en la región sur del Municipio de Monterrey, principalmente de centros comerciales, almacenes y campos de golf, que incrementaron el aprovechamiento de los efluentes tratados por la P'tar Santiago en más de un 100%, tomando como base comparativa los ejercicios 2006 y 2016, donde, como se ha mencionado, Hacienda las Misiones era el único cliente inicial y consumió un caudal promedio de 16.92 litros por segundo, el cual mantuvo una demanda casi idéntica, como se aprecia en la Tabla 4.7 y en los Anexos B y C.

Tabla 4. 7 Clientes y consumos de ART en SAART 2016.

Cliente	Destino de uso	Caudal contratado	Caudal de reúso promedio 2016
MISIONES	Riego de campos de golf y paisajismo en lagos.	45 lps	16.97 lps
RAYADOS	Riego de campos de futbol y áreas verdes.	1 lps	0.64 lps
CEMEX	Riego de campos de futbol y áreas	5 lps	0.58 lps

	<i>verdes.</i>		
MEYER	<i>Riego tipo vivero.</i>	1 lps	0.13 lps
HERRADURA	<i>Riego de campos de golf y paisajismo en lagos.</i>	42 lps	11.37 lps
ESFERA	<i>Riego de áreas verdes y fuentes.</i>	1 lps	0.15 lps
SERENA	<i>Riego de áreas verdes y fuentes.</i>	1 lps	0.04 lps
COSTCO	<i>Sistema contra incendio y riego de áreas verdes.</i>	1 lps	0.10 lps
Totales	4 destinos	97 lps	29.98
Capacidad instalada P'tar Santiago	200 lps	Caudal tratado P'tar Santiago	151.9 lps

Elaboración propia a partir de la información brindada por la Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento de SADM. (SADM, 2017).

4.9 Evaluación de resultados del modelo de ecoeficiencia en el SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

Se realizó la evaluación de los resultados en el SAART final P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco al término del ejercicio 2016, para realizar una comparación con relación a la línea base del ejercicio 2006. Los efluentes tratados por la P'tar Santiago que fueron aprovechados para reúso planeado directo en 2006 alcanzaron un caudal promedio anual de 16.92 lps, donde su único usuario fue el Club de Golf las Hacienda las Misiones, que lo destinó al riego de áreas verdes y campos de golf y, mantuvo casi constante su demanda a lo largo de 10 años; en tanto que, gracias a las acciones Eco-eficientes implementadas para la integración del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, se incrementó en un 177%, hasta alcanzar los 29.98 lps derivado de los consumos de siete usuarios más que diversificaron los destinos de uso a sistemas contra incendio, usos comerciales, viveros y fuentes de ornato, al cierre del ciclo 2016 lo cual se aprecia en los Anexos B y C.

Así mismo, las acciones de EE implementadas trajeron beneficios para el componente de **sostenibilidad hídrica económica**, ya que conforme a los datos presentados en el Sistema de Gestión Comercial de SADM, en 2016 se obtuvieron ingresos por \$10; 667,174.00 pesos, derivados de la venta de ART en el SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, lo que representó un incremento de casi un 310% respecto a los ingresos del ejercicio 2006.

Durante el ejercicio 2016 dentro del componente de **sostenibilidad hídrica ambiental**, el equivalente a casi el 47% de la producción anual de agua potable del manantial La Estanzuela, del Sistema Santiago-Monterrey, fue sustituido para satisfacer la demanda de agua de primer uso en la zona, mediante el suministro de 29.98 lps de efluentes tratados a través del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, en tanto que en 2006 tan sólo representó menos del 25% de la producción de la misma fuente.

Finalmente, las acciones de EE implementadas coadyuvaron también en lo concerniente al componente de **sostenibilidad hídrica social**, donde el reúso de ART a través del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, durante el ciclo 2016, correspondió, a su vez, al 13.5% del caudal promedio anual de agua potable suministrado por el Sistema Santiago-Monterrey a la población del Municipio de Santiago, Nuevo León, y al 28% del incremento de la demanda generada por la población municipal a dicho sistema, entre los ejercicios 2006 y 2016.

Por lo anterior, la evaluación de la Ecoeficiencia del SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco se refleja en los resultados que se presentan en el Anexo C respecto a la línea base mostrada en el Anexo B. Dichos resultados reflejan el impacto positivo en el **Desarrollo Hídrico Sostenible** asociado con la implementación de la EE como herramienta en el SAART P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, la cual contribuyó en incremento de los volúmenes de agua en reúso efectivo de la totalidad de la producción de los efluentes tratados en la P'tar Santiago, obtenidos por la ampliación y optimización del SAART, y se consolidó como un sistema dual de abastecimiento de agua.

Estos valores pueden servir como guía para la formulación y evaluación de mejoras en un SAART. Sin embargo, para un uso integral de los indicadores señalados, es imprescindible el seguimiento a través del tiempo, para así identificar las acciones que permitan establecer metas retadoras relacionadas con el aprovechamiento del agua residual y gestión integral de los recursos hídricos, acordes con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas.

De esta forma, se puede demostrar que la gestión integral del agua dentro del ciclo urbano es factible en un nivel municipal y de cuenca, como se aprecia en la Figura 4.42, que permite, mediante acciones enfocadas en la EE y sus estrategias de visión empresarial, avanzar hacia un desarrollo hídrico sostenible, a pesar de las condiciones externas e internas que ejercen presión sobre los ecosistemas naturales y los recursos hídricos disponibles.

Figura 4. 42 Esquema de sistema de gestión integral del agua de Santiago, N.L.



Elaboración propia a partir de información brindada por la Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento (SDM, 2017).

Las últimas generaciones que radican en ZC-AMM desde el año 2000 a la fecha han contado con el suministro de agua potable las 24 horas del día, con una cobertura del 99%, así como un servicio funcional de alcantarillado con cobertura mayor al 98%, y el saneamiento de su agua residual, dejando atrás etapas de desabasto y de epidemias como el cólera; donde la gestión integral de los recursos hídricos, la calidad y la satisfacción de las necesidades en el servicio que requieren más de 1,260,000 usuarios con contrato y en sí, a toda la población del Estado de Nuevo León son una prioridad.

Como resultado de la fase de verificación se denota que la implementación del modelo de *Ecoeficiencia* en la infraestructura urbana y los procesos de operación del SAART alimentado por el efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Municipal de Santiago, Nuevo León, debe considerarse tan sólo como el primer paso estratégico del desarrollo de la infraestructura de RH y la sostenibilidad para hacer frente a los retos presentes del sector hídrico local. Puede aportar como parte de la solución, no sólo local sino regional, a través de una planeación, eco-diseño, construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras urbanas rentables y de beneficio ambiental, que coadyuven en el logro de la sostenibilidad del recurso del agua de Santiago, Nuevo León y de la ZC-AMM.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

1. En México, los métodos utilizados para analizar la planeación y desarrollo de los proyectos de reúso de los efluentes tratados para la viabilidad de un SAART se basan en enfoques técnicos de sistemas de agua potable como en los costos internos.
2. El modelo de Ecoeficiencia permite evaluar el desarrollo sostenible de los servicios que brinda un sistema y su aportación a la sostenibilidad hídrica mediante indicadores de gestión.
3. La implementación del modelo de Ecoeficiencia para coadyuvar en el desarrollo hídrico sostenible del componente del reúso de agua logró el incremento en un 310% de los ingresos económicos.
4. Se logró reducir los volúmenes de extracción de agua de primer uso en un 47% de una de las fuentes naturales, teniendo un importante impacto benéfico en el medio ambiente.
5. En el componente social se logró prestar un servicio alternativo de agua de menor costo a un 13.5% de la demanda de agua de primer uso y se logró fortalecer la gestión integral del agua en el Municipio de Santiago, N.L. que ahora cuenta con un sistema de abastecimiento de agua, saneamiento y reúso con infraestructura de agua urbana más eficiente.
6. El modelo de Ecoeficiencia como herramienta para el desarrollo sostenible puede ser implementado en un SAART, desde la planificación y desarrollo, o bien adaptada en la

infraestructura existente a través de la implementación de mejoras en los procesos por medio de la aplicación de normas internacionales y sistemas de gestión.

7. Se logró comprobar la versatilidad de la aplicación del modelo original de Ecoeficiencia, como filosofía y como herramienta para el desarrollo de procesos, infraestructuras, empresas, recursos, modelos y sistemas complejos de gestión que aportan al desarrollo hídrico sostenible.
8. Se comprobó que el método presentado es adecuado para los SAART en la optimización de procesos de la infraestructura del sistema de agua urbana, desde una perspectiva multidisciplinaria e interdisciplinaria, con el objetivo de contribuir en el desarrollo hídrico sostenible de un acuífero o cuenca hidrográfica.
9. Los resultados obtenidos demuestran la rentabilidad económica que representa el reúso de ART, el incremento en la disponibilidad de agua fresca en acuíferos del ecosistema ante el reciclaje del ART, mediante la sustitución y el reúso en procesos que no requieren agua de calidad potable, lo cual mejoraría la calidad de vida de la comunidad, propiciando integralmente su desarrollo sostenible.
10. Para la implementación del método aquí descrito y aplicado, se realizaron ajustes en forma tal que se pudiese adaptar lo más posible al SAART del caso de estudio, por lo cual es importante mencionar que pudiesen encontrarse algunas variaciones comprensibles debido a problemas de oportunidad en el tiempo y acceso a la información, así como a la confidencialidad que se debe guardar sobre diferentes aspectos, acorde con los datos obtenidos de las diferentes fuentes.
11. Los SAART son una realidad en México, pero presentan un importante rezago que persiste en el rubro del tratamiento de agua residual. Más importante aún, no se cuenta con información suficiente de experiencias reales de la operación y de los problemas que sufren los proyectos morados construidos; por lo tanto, el presente estudio aporta al desarrollo sostenible de los recursos hídricos y puede ser útil cómo una sólida base para profundizar en la eficiencia real de esta importante infraestructura.
12. El enfoque holístico del modelo de Ecoeficiencia permite implementar programas de gestión sostenible de los recursos hídricos, necesaria en las tres dimensiones del desarrollo sostenible (social, económico y ambiental).
13. El reúso directo planeado del agua residual tratada, adquiere un mayor valor ambiental, económico y social que el reciclaje de agua industrial, ya que será la base fundamental para el logro del Objetivo 6 de Desarrollo Sostenible, porque permite la reducción de la contaminación, el incremento de la reutilización, el incremento de la disponibilidad del agua de primer uso y presenta menores costos para usuarios, ya

que se pueden realizar tratamientos terciarios especializados para alcanzar grados de pureza que permita en el futuro cercano, una calidad adecuada accesible, asequible y segura, inclusive para el consumo humano.

5.2 Recomendaciones.

1. Es recomendable reconocer que el saneamiento como sistema lineal debe migrar a un enfoque holístico e integral e implementado por un SAART, es necesario para una eficaz gestión de los recursos hídricos en el ciclo urbano, y que confiere una relevancia equivalente a los sistemas de abastecimiento de agua potable y plantas de potabilización.
2. Las visiones empresariales al año 2050 y la Agenda 2030 de la ONU, ya brindan en la planeación la misma importancia al aprovechamiento y reúso del agua residual tratada mediante sistemas de abastecimiento especializado, que contribuyan a desarrollar la sostenibilidad hídrica entre los tecno-sistemas y ecosistemas, al ser un recurso natural indispensable para la vida y el centro del desarrollo sostenible.
3. La adopción de la Ecoeficiencia en nuevos proyectos destinados a la mejora o construcción de un SAART en los programas y planes de los gobiernos a nivel estatal y nacional puede contribuir en el desarrollo y gestión hídrica sostenible, en el eventual logro de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 (SDG6) presentado por la Organización de las Naciones Unidas en la Agenda 2030.
4. Otorgar la importancia que merecen dichas fuentes de agua no convencionales, consciente o inconscientemente utilizadas hoy en día en un menor o mayor grado, para el abastecimiento de agua en las ciudades o tecno-sistemas del país, con áreas de oportunidad importante de Ecoeficiencia.
5. Es ampliamente recomendable la adaptación del método Ecoeficiencia que permita el incremento sostenido del aprovechamiento mediante el reúso planeado directo de los efluentes tratados para los diversos destinos que requieran o no, calidad equivalente a la potable, que aportará beneficios económicos, ambientales y sociales a los sistemas existentes dentro de una gestión integral de los recursos hídricos disponibles.
6. Ante las condiciones de escases de los recursos hídricos disponibles en los ecosistemas donde se encuentran inmersos simbióticamente los tecno-sistemas; las acciones requeridas para la optimización de su uso y gestión sostenible deben tomarse de forma especializada.
7. Se deberá profundizar el análisis del beneficio directo ambiental en la cuenca objeto del estudio y su impacto en el ciclo hidrológico natural.

BILBIOGRAFÍA.

- Acosta, D., Macías, V., Mendoza, L., Cabello A. (2013). *Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides tempranillo (vitis vinifera) en Baja California, México*; Diciembre 2013, Ensenada, Baja California, México: Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California. *Agrociencias* 47 (8): 753-766.
- Asano, T. (1991). *Planning and implementation for water reuse projects*. *Water Science and Technology*, Nov 1991, 24 (9): 1-10, IWA Austria: Board. Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://wst.iwaponline.com/content/24/9/1>
- Asano, T. (2002). "Water from (waste) water – The dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture)". *Water Science & Technology*, Apr 2002, 45 (8): 23-33
- Asano, T y Levine, A. (1996). "Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future", *Water Science and Technology*, 33 (10-11): 1-14. doi: 10.1016/0273-1223(96)00401-5
- Asano, T., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, T. (2007). *Water Reuse*. New York, E.U.: McGraw-Hill.
- Atienza-Sahuquillo, C. y Barba-Sanchez, V.(2014). Design of a measurement model for environmental performance: application to the food sector. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(6):1463-1472.
- ANEAS, Asociación de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A.C (2017). Y en la Semana Internacional del Agua de Bakú. ANEAS, *Agua y Saneamiento*, 16(71), 5.
- Angelakis, A. N. y Gikas, P. (2014). Water Reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis in EU states. *Water Utility Journal*, 8: 67-78. Recuperado el 8 de Abril de 2017, de http://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_07.pdf
- Angelakis, A. N., Koutsoyiannis, D. y Tchobanoglous, G. (2005). Urban wastewater and stormwater technologies in the ancient Greece. *Water Research*, 39(1): 210-220. Recuperado el 5 de abril de 2017, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15607179>
- Angelakis, A. N. y Spyridakis, S. (1996). *The status of water resources in Minoan times: a preliminary study*. En A. N. Angelakis y A. S. Issar (Eds.), *Diachronic climatic impacts on water resources in Mediterranean Region* (pp.161-191). Heidelberg, Alemania: Springer.
- ARI (2006). *Estudio del Sistema Planta de Tratamiento SISTELEON-Las Misiones mediante software A.R.I.* PLAN Sizing and Location Program, Flow control accessories, Askelon, Israel-Monterrey, México: ARI
- Arízaga, D., Herzer, H. Passalacqua, E., Balbo, M.Jordán. Simioni, D. (2003). *Gestión Urbana para el Desarrollo Sostenible en América Latina y El Caribe, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, Santiago, Chile: CEPAL
- Ashton, J.; Ubido, J.(1991). *The Healthy City and the Ecological Idea*. Soc. Hist. Med. 1991 Apr; 4(1), 173-80. doi: 10.1093/shm/4.1.173.
- AWWA, American Water Works Association (2016). *Potable Reuse 101: An innovative and sustainable water supply solution*. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <https://www.awwa.org/Portals/0/files/resources/water%20knowledge/rc%20reuse/Potable%20Reuse%20101.pdf>.
- AWWA, American Water Works Association (2012). *Manual de Entrenamiento para Operadores de Sistemas de Distribución de Agua*. Primera Edición en Español, Denver, E.U.: AWWA.
- AWWA, American Water Works Association.(2009). *American Water Works, Association, Planning for the Distribution of Reclaimed Water*. Manual M24, Third Edition, E.U: AWWA.
- Bao Iglesias, M. (2005). Ecoeficiencia industrial. En: Ramos Castellanos, P. & Ramos Criado, P.A. (Eds.) *Gestión del medio ambiente (1996-2005)*: 349-352, 353, 354-362. Barcelona, España: Ediciones Universidad de Salamanca
- Bartolomeo, M., Dal Maso, D., De Jong, P. et al. (2003). *Eco-efficient producer services - what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilized?*. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/S0959-6526(02)00157-9
- Barba, V., Atienza, C. (2016). *Environmental Proactivity and Environmental and Economic Performance: Evidence from the Winery Sector, Sustainability* 2016, 8(10), 1014; doi:10.3390/su8101014
- Bansal, P. & Roth, K.(2005). Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness. *Academy of Management Journal*, 43(4): 717-736.
- Barlow, M. (2001). *El Oro Azul: La Crisis Mundial del Agua y la Reificación de los Recursos Hídricos del planeta*. Ottawa, Canada: S/E.
- Becerra, L. F., y Pino A. J. (2005). *Evolución del concepto de desarrollo e implicaciones en el ámbito territorial: experiencia desde Cuba*. *Economía, Sociedad y Territorio*, 5 (17): 85-119.
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas. Fundamento, desarrollo y aplicaciones*. Primera edición en español, México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, S.A.
- B.M. Banco Mundial (2012). *Gestión Integral de Aguas Urbanas, Síntesis, Banco Mundial, Programa Agua Azul, Ciudades Verdes*. Washington, D.C., E.U.: BM.
- Breña, A. (2007). *La problemática del agua en zonas urbanas*. En Jorge Morales, J. y Lilia Rodríguez (coord.): *Economía del agua. Escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas*, México, D.F.: Porrúa-UAM.
- Brown, L.R., Gardner, G., & Halweil, B. (1999). Beyond Malthus: Nineteen *Dimensions of the Population Challenge*. Washington, D.C.: Worldwatch Institute.
- Bueno, J. (2009). *Agua Residual Tratada, Estudio de Diagnóstico e Ingeniería de la Flujometría de SADM.*, Monterrey, México: Regio servicio ambiental
- Caballero, J. (2015). *Plan Municipal de Desarrollo 2015-2018 de Santiago, Nuevo León*: Gobierno Municipal, Santiago, Nuevo León.
- Cabrera, E., y García-Sierra, J. (1998). Las estructuras de gestión del agua en España y en Israel: Dos modelos contrapuestos, Jorge García-Serra; El / coord. Por Francisco Javier Martínez Gil, Pedro Arrojo Agudo, 1999, págs. 739-758.
- Castro, A.E. (1998). *Hacia el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia: integración de las normas ISO 9000, ISO 14000 e ISO 18000 diseño de un sistema de gestión ambiental certificable*. (Tesis de maestría inédita). Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Carrillo, G. (2009). *Una revisión de los principios de la ecología industrial*. *Argumentos*, 22 (59): 247-265: Editorial Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

- CESPT, Comisión estatal de Servicios Públicos de Tijuana (2017). *Dará CESPT mayor impulso al reuso de agua*. ANEAS, Agua y Saneamiento, 16 (71): 33.
- Cerda, O., Celedon, P., Vega-López, E. (2011). *Ecoeficiencia y Desarrollo de Infraestructura Urbana Sostenible en Asia y América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), ROA, Recuperado el 5 de mayo de 2017, de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/3870-ecoeficiencia-desarrollo-infraestructura-urbana-sostenible-asia-america-latina>.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y El Caribe (2017). *Carta Circular No. 46 de la Red de Cooperación en la Gestión Integral de los Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y El Caribe*. Organización de las Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y El Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago, Chile: CEPAL
- CESOP, Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (2017). *El agua residual en el marco del Día Mundial del Agua. (22 de Marzo)*. Recuperado el 20 de julio de 2017, de www5.diputados.gob.mx/.../CESOP-IL-14-EC71ElAguaResidual-20170228.pdf
- CMED, Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (CMED). (1987). *Nuestro Futuro Común*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- CIDIPAL, Centro de Información y Documentación de Israel para América Latina (2007). *La Escasez de Agua en Israel*. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://www.cidipal.org/index.php?option=com_alhacontent§ion=4&cat=27&task=view&id=373&Itemid=39
- Cintra, Y.; Carvalho, N. y Perlingeiro, B. (2008). *The "Triple Bottom Line" approach on social and environmental reporting: should financial accounting standard setters step in?*. European Journal of Management. International Academy of Business and Economics, 2008, 8(4). Recuperado el 2 de agosto de 2017, de <https://business.highbeam.com/408855/article-1G1-190617049/triple-bottom-line-approach-social-and-environmental>
- Cirilo, J., Cabral, J., Silva Pereira J. (2007). *Sobre la importancia de la reutilización de manera global, O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas*, Recife, Brasil: Universitária UFPE.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016a). *Estadísticas del Agua en México: México, Comisión Nacional del Agua, Edición 2016, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Octubre, p.p.29, México, CDMX: SEMARNAT*.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016b). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Libro 38. Alternativas tecnológicas de tratamiento de aguas residuales para la recarga artificial de acuífero, Edición 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX: SEMARNAT. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016c). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Libro 31. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos, Edición 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX: SEMARNAT. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016d). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Libro 35. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Avanzados con fines de Reuso, Edición 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX: SEMARNAT. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>.
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua, (2015a). *Atlas del Agua en México 2015*. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, CDMX: CONAGUA. Recuperado el 12 de julio, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2015b) *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*, Diciembre 2015, México, D.F. Comisión Nacional del Agua, Recuperado el 2 de marzo del 2017, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, (2012). *Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable, Primera Edición, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, México, D.F.: CONAGUA.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2011). *Agenda del Agua 2030*. México, D.F.: SEMARNAT, Recuperado el 8 de mayo de 2017, de www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgp-10-12baja.pdf
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Libro No. 9, Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 2007, México, D.F: SEMARNAT.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2006). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Diciembre 2006, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.: SEMARNAT.
- CONAPO, Consejo Nacional de Población (2017). *Proyecciones de la población en Municipios y localidades 2010-2030*, Santiago, Nuevo León. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.
- CONSEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2010). *Porcentaje de población en situación de pobreza 2010. Datos de Santiago, Nuevo León, México*. Recuperado el 12 de abril de 2017, de http://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Nuevoleon/Paginas/pob_municipal.aspx.
- Cohen, Ariel; Mamane Hadas, Lester Yaal (2015). *Reutilización de Aguas Residuales en México: Caso Sonora*. México, CDMX: Universidad de Tel-Aviv/CONAGUA.
- Cotes, A. y Cotes, J. (2005). *El Problema de la Sostenibilidad dentro de la Complejidad de los Sistemas de Producción Agropecuarios*. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 58(2), 2813-2825. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472005000200002&lng=en&tlng=es.
- CR, Club of Rome (2009). *40 Years, Limits to Growth*, Recuperado el 19 de julio de 2017, de <http://www.clubofrome.org/?p=326>
- Daly, H. (1990). *Sustainable Development: From Concept and Theory to Operational Principles*. Population and Development Review, 16, 25-43. doi:10.2307/2808061

- DAMA, Departamento Técnico administrativo del Medio Ambiente (2002). Plan de Gestión Ambiental 2001-2009, Bogotá, Colombia: DAMA.
- DEF, Departamento del Estado de Florida (2007). *Código Administrativo del Departamento de Protección Ambiente del Estado de Florida*, Recuperado el 4 de mayo de 2017, de http://www.dep.state.fl.us/legal/web_update/rules/wastewater/62-610.pdf.
- Díaz, J. (2007). *El agua en el contexto de las ciudades sustentables*. En Jorge Morales y Lilia Rodríguez (coord.): Economía del agua. Escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas, México, D.F.: Porrúa-UAM.
- Dimova, G., Hugi C., Niewersch, C., Ribarova I., Stanchev P., Steiger O. (2012). UE, *Eco-Water, Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors, Eco-efficiency assessments in urban water systems*, D3.1: Value Chain Description of Urban Water Systems, Sofia, Zurich, Switzerland:UE.
- Donella H., Dennis L., Jorgen R., William W. (1972). *The limits to growth*, Nueva York: Universe Books.
- Dourojeanni, A. (2011). *Carta Circular Nº 34, Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile: CEPAL.*
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2016). *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales nacionales de las 731 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, Recuperado el 12 de septiembre de 2017, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5428971&fecha=08/03/2016*
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2015). *Actualización de la disponibilidad de agua media anual de agua en el Acuífero Cañón del Huajuco (1911)*, Estado de Nuevo León, Comisión Nacional del Agua, México, D.F.: Diario Oficial de la Federación del día 20 de abril de 2015, Recuperado el 2 de abril de 2017, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103170/DR_1911.pdf
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2012). *Decreto por el que se reforma el Artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y Tercero Transitorio de la reforma Constitucional publicada el 8 de febrero de 2012 en el Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: DOF.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2011). *Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos.Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, Recuperado el 14 de septiembre de 2017, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192916&fecha=02/06/2011.*
- DOROT, (2013). DAV-WP Válvula de aire para aguas residuales, Dorot, Control Valves, Catálogo de productos, Recuperado el 12 de junio de 2017, de http://www.dorot.com/Admin/Public/Download.aspx?File=Files%2FFiles%2FDorot%2FEngineersLibrary%2FCatalogues%2FAir+valves%2FWaste-Water%2FProduct+Catalog%2FDAV-WP_Spanish.pdf
- Dueñas, C. Amaya, L. Donado, L. (2015). *Reúso del agua residual tratada. Una propuesta de regulación para el uso seguro*. Convenio No. 100 Universidad Nacional de Colombia – Secretaría Distrital de Planeación. Bogotá D.C.: UNC.
- DRQ, Diario Rotativo de Querétaro, (2017). *Plantas de tratamiento en México*, Recuperado el 2 de octubre de 2017, de <https://rotativo.com.mx/noticias/locales/san-juan-del-rio/606446-queretaro-8-plantas-tratamiento-agua-mexico/>.
- ELSS, Encyclopedia of Life Support Systems, (2017). Definition Life Support System, Recuperado el 5 de mayo de 2017 de http://www.eolss.net/eolss_definition.aspx
- ESA, Ecological Society of America, (2001). *Ecosystem services, Fact Sheet*, Recuperado el 16 de mayo de 2017, de <http://www.esa.org/ecoservices/comm/body.comm.fact.ecos.html>
- Elvia, G. (2000). *Un Ejercicio de Aplicación de Indicadores de Sostenibilidad de Diferentes Alternativas Productivas en los Humedales de la Laguna Merin*. Temas Clave, No. 12, Recuperado el 6 de abril de 2017, de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=FARN.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=007551>
- EPA, Environmental Protection Agency, (SF). *Introducción a la Ley de Agua Limpia, Recuperado el 22 de marzo de 2017, de https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Agua_Limpia.pdf.*
- EPA, Environmental Protection Agency, (2012). *Guidelines for Water Reuse 2012 CDM*, Smith, EEUU, Massachusetts, Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100F57K.pdf>
- ESCAP, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, (2011). *Are we building competitive and liveable cities? Guidelines for developing eco-efficient and socially inclusive infrastructure*, Environment and Development Division, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean, UN ST/ESCAP/ - ISBN 978-974-680-291-8, Bangkok, Thailand: United Nations.
- ESCAP, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2009a) *Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment*. ST/ESCAP/2561, Bangkok, Thailand: United Nations.
- ESCAP, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, (2009b), *Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Eco-efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment*. UN, Environment and Development Division, Bangkok, Thailand: United Nations.
- ESCAP, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2007). *Sustainable Infrastructure in Asia, Overview and Proceedings*, ISBN: 978-92-1-120507-7, Bangkok,Thailand :United Nations.
- Escobedo, J. (2008). *Marco institucional en la Cuenca del río Bravo*. Revista: *Equilibrio Económico*, Año IX, Vol. 4 No. 1, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.equilibrioeconomico.uadec.mx/descargas/Rev2008/Rev08Sem1Art3.pdf>
- EC, European Commission. (2016). *Water Reuse: Background and policy context*. Recuperado el 6 de junio de 2017 de <http://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>
- Felicio H y Caetano, P. (2007). *Reúso de Agua*. Segunda Edición, p. 340, San Pablo Brasil:Manole.
- FEM, Foro Económico Mundial (2017), *Informe de Riesgos Mundiales 2017*, Edición No. 12, Ginebra, Suiza: FEM
- Fernández, M. (2016). *Water reuse & recycling within EU Reference Documents*, August 2016 , London, England: Commission to the European Parliament.

- Fernández, D. (2001), *Informe sobre la situación del Mercado del Agua y Tecnologías Relacionadas en Israel*, Recuperado el 2 de julio de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/israel.pdf>
- FFA, Fundación Fórum Ambiental, (2000). *Guía para la Ecoeficiencia*, Barcelona, España: Fundación Fórum Ambiental. Agencia Europea del Medioambiente. Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://www.forumambiental.org/pdf/guiascast.pdf>
- FFA, Fundación Fórum Ambiental, (1999). *El Reto de la Ecoeficiencia, la Productividad de los Recursos y la Eco-innovación en el Sur de la Unión Europea*, Barcelona, España, Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://www.forumambiental.org/pdf/reto.pdf>
- Fürst, E. (2002). *Indicadores de ecoeficiencia en el proceso del beneficiado de café en Costa Rica: un análisis comparativo de cambios en el desempeño eco-eficiente en las cooperativas de SUSCOF entre 1997/98 y 2000/01*. CINPE, ISCOM. , Heredia, Costa Rica. Recuperado el 15 de julio de 2017, de <http://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/8615>
- García, C. (2012). *Los constructos de la sustentabilidad hídrica*. Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://www.eepsys.com/es/los-constructos-de-la-sustentabilidad-hidrica>
- García, R. (2011). *Interdisciplinariedad y sistemas complejos*. Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales. 1 (1): 65-101.
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Primera Edición, Barcelona, España: Gedisa.
- Garner, E., Zhu, N., Strom, L., Edwards, M. and Pruden, A. (2016). *A human exposome framework for guiding risk management and holistic assessment of recycled water quality*, Journal Environmental Science: Water Research & Technology, The Royal Society of Chemistry, 2(4): 580-598, doi:10.1039/C6EW00031B.
- Gasson, B. (2002). *Towards Ecologically Sustainable Cities: A Conceptual Framework and a Case Study*, presentado para el Institute Environmental and Recreational Management en el 40th Congreso Bi-Anual con el tema: "Green Cities, Sustainable Cities", realizado en Midrand, del 18-21 de Noviembre, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.ierm.org.za/LibraryReports/ConventionDocuments.aspx>
- GAWS.The Governmental Authority for Water and Sewage (2015). *IWRM, Integrated Water Resources Management–The Israeli Model: Welcoming Note Towards World Water Forum VII*, South Korea, Israel. Recuperado el 12 de julio de 2017, de <http://www.water.gov.il/Hebrew/ProfessionalInfoAndData/2012/02-Israel%20Water%20Sector%20-%20IWRM%20Model.pdf>
- Guerrero, M. (1991). *El Agua*. Primera edición, México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Gómez-Limón J.A, Picazo-Tadeo A., Reig-Martínez E. (2012). *Eco-efficiency assessment of olive farms in Andalusia*. Land Use Policy 29 (2): 395-406.
- GWP, Global Water Partnership (2011). *Hacia la Gestión Integral de Aguas Urbanas, Proyecto de Perspectivas. Sociedad Mundial del Agua. Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Río de Janeiro, vol. I: Resoluciones aprobadas por la Conferencia, resolución 1, anexo II*. Estocolmo, Suiza: GWP.
- GWP, Global Water Partnership (2000). *Gestión Integral de Recursos Hídricos. Proyecto de Antecedentes No.4, Comité de Consejería Técnica, Sociedad Mundial del Agua*. Estocolmo, Suiza: GWP.
- Han, RL; Tong, LJ; Song, YN (2011). *Análisis de la economía circular de la provincia de Liaoning basada en la ecoeficiencia*. Barbilla. Acta Ecol. Pecaado. 2011(31): 4732 - 4740.
- Hiroshan H., Reza A., (2017). *Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: Ejemplos de buenas prácticas*, Universidad de las Naciones Unidas Instituto para la Gestión Integral de Flujos de Materiales y Recursos, (UNU-FLORES), Primera edición Dresden, Alemania: Reprogress GmbH.
- Holdren, J., Gretchen, C., Herlich, P. (1995). *The Meaning of Sustainability: Biogeographical Aspects*, Mohan Munansinghe-Walter Shearer, Editors, Distributed for the United Nations University by The World Bank Washington, D.C., Recuperado el 6 de abril de 2017, de <http://jayhanson.us/page113.htm>
- Holliday, C.O., Schmidheiny, S. & Watts, P. (2002). *Walking the Talk, The Business Case for Sustainable Development*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
- Huppés, G. and Ishikawa, M. (2005). *A Framework for Quantified Eco-efficiency Analysis*. Journal of Industrial Ecology, 9: 25–41. doi:10.1162/108819805775247882
- Hutton, G. y L. Haller (2004). *Evaluación de los Costos y Beneficios del Agua No Relacionados con la Salud y Mejoras en el Saneamiento a Niveles Globales*. Organización Mundial de la Salud, Recuperado el 16 de julio de 2017, de http://www.who.int/water_sanitation_health/en/wsh0404rresp.pdf
- Hyde, C.G. (1937). *The Beautification and Irrigation of Golden Gate Park with Activated Sludge Effluent*. Sewage Works Journal, 9(6): 929-941.
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2014). *Programa Institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 2014-2018*, México, DOF, 2014, 29 abril, p. 63, Recuperado el 10 de abril de 2017, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342552&fecha=29/04/2014
- IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1999), *El Reúso del Agua en México: Estrategia de Calidad, presentado en el 42º Congreso Internacional ACODAL, Hacia la Calidad: Necesidad para el Próximo Milenio*, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Barranquilla, Colombia, Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal42/reuso.pdf>
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. (2016). *Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_es_truc/AEGPEF_2016/702825087357.pdf
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Santiago, Nuevo León, clave geoestadística 19049*, México, D.F.: INEGI.

- INEGI, Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*, Santiago, Nuevo León. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/19/19039.pdf>
- IGME, Instituto Geológico y Minero de España, (2011). *Reutilización de las aguas residuales*, Libro 33, Capítulo II: 8-14, Recuperado el 2 de mayo de 2017, de http://aguas.igme.es/igme/publica/libro33/pdf/lib33/cap_1.pdf,
- Jjemba, P., Johnson W., Bukhari Z. and LeChevallier M. (2014). Review of the leading challenges in maintaining reclaimed water quality during storage and distribution, *Journal of Water Reuse and Desalination*, IWA, 2014, 4(4):209-237
- Jiménez, B. (2007). *Información y Calidad del Agua en México. Trayectorias UANL*, 9(24) Monterrey, N.L., México. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de http://trayectorias.uanl.mx/24/informacion_calidad_del_agua.htm
- Kalbermatten, J. Gunnerson, J, & Mara, L. (1982). *Appropriate sanitation alternatives: A planning and design manual. World Bank, studies in water supply and sanitation; No. 2*, The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, E.E.U.U: The World Bank
- LA. Ley Ambiental (2015). *Ley Ambiental del Estado de Nuevo León*. Periódico Oficial del Estado de Nuevo León, Monterrey, México, 15 de julio, 2005, última reforma publicada el 13 de mayo del 2015, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://www.hcnl.gob.mx/trabajo_legislativo/leyes/ley_ambiental_del_estado_de_nuevo_leon/
- Lamberton, G. (2005). *Suficiencia sostenible - una versión consistente internamente de la sostenibilidad*. *Sustainable Development*, (13): 53-68. doi: 10.1002 / sd.245
- LAN. Ley de Aguas Nacionales (2016). *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación, México, 1 de enero, 1992, última reforma publicada el 24 de marzo del 2016, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan.htm>,
- Lavrador Filho, J. (1987). *Contribuição para o Entendimento do Reúso Planejado das Águas e Algumas Considerações sobre suas Possibilidades no Brasil*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica de São Paulo da USP, San Pablo, Brasil.: Forum Ambiental.
- Lawrence, David. (1997). *PROFILE: Integrating Sustainability and Environmental Impact Assessment*. *Environmental Management*. 21. 23-42. doi: 10.1007/s002679900003.
- Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: Marco de Análisis, *Indicadores y Experiencias*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), RLA/01/001, recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5644-ecoeficiencia-marco-analisis-indicadores-experiencias>.
- LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2017). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero, 1988, última reforma publicada el 24 de enero del 2017*, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- LGCC. Ley General de Cambio Climático (2016). *Ley General de Cambio Climático*. Diario Oficial de la Federación, 06 de junio, 2012, última reforma publicada el 01 de enero junio del 2016, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_010616.pdf
- Maurer, M. (2013). *Costo total, (des) economías de escala y el precio de la incertidumbre. En la separación en origen y la descentralización para la gestión de aguas residuales*. Londres, Reino Unido: IWA Publishing.
- Mantilla, G. (2017). Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso. *ANEAS, Agua y Saneamiento*, 16 (71): 47-49.
- MAPAMA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España, (2010). *Plan Nacional de Reutilización de Aguas*, Recuperado el 20 de marzo de 2017, de http://www.mapama.gob.es/calidad-y-evaluacion-ambiental/pnra231210_tcm7-153069.pdf
- MAPAMA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España, (2015). *Regeneración y Reutilización de Aguas depuradas, Diseño, Construcción y Explotación*, Recuperado el 20 de marzo de 2017, de http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/36regeneracionyreutilizaciondeaguasdepuradasdisenoconstruccionyexplotacion_tcm7-379850.pdf
- Meadows, D., Rander, J., Behrens, W. (1993). *The limits of growth*. A report for the Club of Rome. Project on the predicament of mankind, London, U.K.: Potomac.
- Metcalfe & Eddy (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Volumen 1, Tercera Edición en Español, México, D.F.: Mc. Graw Hill.
- Metcalfe & Eddy (1994). *Ingeniería Sanitaria. Redes de Alcantarillado y Bombeo de Aguas Residuales*. Segunda Edición, Cali, Colombia: Ed. Labro, S.A.
- Mickwitz, P., Melanen M., Rosenström U., y Seppälä, J. (2006). *Regional eco-efficiency indicators e a participatory approach*. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 14: 1603-1611.
- MINAM, Ministerio del Ambiente (2016). *Guía de Ecoeficiencia para Instituciones del Sector Público, Dirección General de Calidad Ambiental, Septiembre*, Lima, Perú. Recuperado el 2 de julio de 2017, de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-ecoeficiencia-instituciones-sector-publico-0>
- MINAM, Ministerio del Ambiente (2009). *Guía de Ecoeficiencia para Instituciones del Sector Público*, Dirección General de Calidad Ambiental, Septiembre, Lima, Perú, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp-content/uploads/2014/09/Guia_ecoeficiencia_SP-MINAM-2009.pdf
- McKinsey, J. (2009). *Charting our water future: Economic frameworks to inform decision-making*, Washington, D.C.: 2030 Water Resources Group.
- NADBANK, Banco de Desarrollo de América del Norte (2014). *Propuesta de certificación y financiamiento: Proyecto de acueducto Monterrey VI*, Monterrey, Nuevo León.: Banco de Desarrollo de América del Norte.
- NADBANK, Banco de Desarrollo de América del Norte (2006). *Hoja informativa, Monterrey, Nuevo León. Proyecto: Proyecto de ampliación de la red de distribución de agua residual tratada*. Recuperado el 2 de abril de 2017 de [http://www.nadb.org/espanol/pdfs/cartera_de_proyectos/FS%20Monterrey,%20NL%20\(WW\)%2003-06%20\(Span\).pdf](http://www.nadb.org/espanol/pdfs/cartera_de_proyectos/FS%20Monterrey,%20NL%20(WW)%2003-06%20(Span).pdf)

- Nieto, L. M. (1999). *En torno al criterio de sostenibilidad*. Publicado en Pulso, Diario de San Luis, sección Ideas, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC-AP990114.pdf>.
- Olivares, M. (2017). *Aguas Residuales: Un mejor tratamiento, un mejor aprovechamiento*. ANEAS, Agua y Saneamiento, 16 (71):28-32.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2017). *Waste water treatment (indicador)*. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de <http://dx.doi.org/10.1787/ef27a39d-en>
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2013). *OECD Environmental Performance Reviews: Mexico*, Paris, France, OECD Publishing. doi:10.1787/9789264180109-en,
- OCDE, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (1998). *Eco-efficiency.Towards sustainable development*, Environmental Indicators. París, Francia: OECD Publishing.
- Odum, E. P. (2001), *The "Techno-ecosystem"*, *Bulletin April of the Ecological Society of America*.doi: 10.1890/0012-9623(2001)082[0136:C]2.0.CO;2/epdf
- Odum, E. P. (1997), *Ecology: A Bridge Between Science and Society*, Edition 1, February 1997, Sunderland Massachusetts, E.E.U.U.:Sinauer Associates, Inc.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2015a). Asamblea General, Resolución A/RES/70/1 *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*; 25 de septiembre de 2015. Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2015b). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: 17 Objetivos para transformar nuestro mundo*, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es>.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2012). *Asamblea General, Resolución 66/288, EL Futuro que queremos*, Resolución A/RES/66/288, Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2010). Asamblea General, Resolución 64/236, *Ejecución del Programa 21 y del Plan para su ulterior ejecución, y aplicación de los resultados de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*, Resolución A/RES/64/236, Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2006). Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, *Human Development Report*, Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2002a). *Conferencia de las Naciones Unidas A/CONF/198/11; Informe de la Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo, Monterrey (México)*. Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2002b). *Conferencia de las Naciones Unidas A/CONF.199/20, Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo (Sudáfrica)*. Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2000). Asamblea General, Resolución 55/2, *Declaración del Milenio*, Resolución A/RES/55/2*, Nueva York, E.U.: Organización de las Naciones Unidas.
- OMM, Organización Meteorológica Mundial, (1992), *Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible*. Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), Cuestiones de Desarrollo para el Siglo XXI, 26 a 31 de enero de 1992: 1-28, Dublín, Irlanda: OMM.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2006). *WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4. Excreta and greywater use in agriculture*, ISBN: 92 4 154685 9, Ginebra: World Health Organization.
- OPS/OMS. (2001). *Agua y Salud: Un Brindis por la Vida*. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Lima, Perú: Editorial CEPIS, Recuperado el 2 de agosto de 2017, de www.bvsde.ops-oms.org/bvsadiala/e/2001/dia2001.pdf
- Pan, XX; Él, YQ; Hu, XF, (2013). *Evaluación y análisis econométrico espacial de la eficiencia ecológica regional*. Barbilla. Resource. Reinar. Yangtze Basin, (22): 640-646.
- Paranychianakis, N.V.; Salgot, M.; Snyder, S.A.; Angelakis, A.N. (2015). *Quality Criteria for Recycled Wastewater Effluent in EU-Countries: Need for a Uniform Approach*. Crit. Rev. Environmental, Science & Technology. 2015, (45): p.p. 1409–1468.
- PED, Plan Estatal de Desarrollo (2016). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2021 del Estado de Nuevo León, México*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de: <http://www.nl.gob.mx/publicaciones/plan-estatal-de-desarrollo-2016-2021>
- Picazo-Tadeo, A.; Beltrán-Esteve, M.; Gómez-Limón, J. (2011). *Assessing eco-efficiency with directional distance functions. Working Papers Applied Economics. Universidad de Valencia. España.WPAE-2011-10*.doi: 10.1016/j.ejor.2012.02.025
- Porter, M. E. (1991). *Towards a dynamic theory of strategy.Strategic Management. J.*, 12: 95–117. doi:10.1002/smj.425012100
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2014). *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología*. Marzo, 2014: 72.Oficina de Investigación en Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México, PNUD, México, D.F.: ONU.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (2014). *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología*, Oficina de Investigación en Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México, PNUD, Marzo 2014, México, D.F. p.p. 72
- PNUMA, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas*. Paris, Francia: UNEP, Recuperado el 2 de abril de 2017, de www.unep.org/greeneconomy.
- PNUMA, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010). El ABC del CPS. Aclarando Conceptos sobre el Consumo y la Producción Sostenibles, División de Tecnología, Industria y Economía, Paris, Francia: UNEP
- UNEP, United Nations Environment Programme (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*, 162pp, Nairobi, Kenya.: United Nations Environment Programme.
- Prats, J. (1999). *La Construcción Histórica de la Idea del Desarrollo*. Institut Internacional de Governabilitat de Catalunya, Barcelona, España, Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://myslide.es/documents/la-construccion-historica-de-la-idea-de-desarrollo-joan-prats.html>
- Prats, D. (2001). *Conceptos Generales sobre Reutilización. Calidad del Agua y Usos Posibles*. Conferencia Internacional “El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua”. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Recuperado el 10 de abril de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd25/prats.pdf>

- PSC, Planeación, Sistemas y Control (2011). *Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Nuevo León*, Planeación, Sistemas y Control, S.A. de C.V. Monterrey, México: PSC
- Ramírez-Hernández, J. (2006). *Una visión de la problemática ambiental de Mexicali y su valle*, Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Revista Agua y Saneamiento [en línea]. México DF (México): ANEAS. Vol. 16, no.71, marzo – Abril de 2017. Recuperado el 20 de julio de 2017, de www.aguaysaneamiento.com/docs/AyS-71-11-ABR.pdf
- Reijnders, L. (1998). *El debate sobre el factor X: Establecimiento de objetivos para la ecoeficiencia*. J. Industrial Ecology, 2(1): 13- 22. doi:10.1162/jiec.1998.2.1.13
- Robert, K. (2002). *The natural step story—seeding a quiet revolution*. New Society Publisher, Gabriola Island, Recuperado el 2 de abril de 2017, de www.naturalstep.ca/the-natural-step-story.
- Rueda, Salvador. (1999). *Modelos e Indicadores para Ciudades más Sostenibles*. (1ª ed.) Cataluña, España.: Fundación Forum Ambiental.
- Sáez, J. (2010). *Caracterización Físico-Química de las Aguas Residuales*, en Navarro, T., (Ed), Reutilización de Aguas Regeneradas. Aspectos tecnológicos y jurídicos. (p.p. 110-128), Primera Edición, Barcelona, España.: Instituto Euro-mediterráneo del Agua.
- Saidi, M.K.(2007). *Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security, North Atlantic Treaty Organization (NATO), Science for Peace and Security Series.First Edition*, Dordrecht, Holland: Ed. Springer.
- SADM, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., (2017). *Prontuario Estadístico Sobre la Operación en el Área Metropolitana, Datos e Información Técnica de la Dirección de Proyectos, Operación y Saneamiento a 2017*, Recuperado el 20 de octubre de 2017, de https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/Anuario_Estadistico_SADM.pdf.
- SADM, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., (2011), Informe de Resultados: Conducimos Agua, llevamos vida a Nuevo León. Monterrey, México. SADM. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/SADM_Informe_Resultados_2011.
- SACMEX, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2017). *Día Mundial del Agua 2017*. ANEAS, Agua y Saneamiento, 16 (71): 75.
- SAPAL, Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. (2017). *Día Mundial del Agua en León*. ANEAS, Agua y Saneamiento, 16 (71): 77.
- SEDUE, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (2012). *Plan Parcial de Desarrollo Urbano Sustentable Cañón del Huajuco Monterrey 2010-2020*, Monterrey, Nuevo León: Gobierno Municipal de Monterrey.
- SDS, Secretaría de Desarrollo Sustentable (2010). *Nuevo León 2030, Visión Estratégica Integral de Desarrollo Urbano, Vivienda y Medio Ambiente*. Diciembre, 2010: 41, 94-95, 97. Monterrey, México: Gobierno del Estado de Nuevo León.
- SE, Secretaría de Economía (2016) *NMX-SAA-14045-IMNC-2016, Gestión Ambiental-Evaluación de la Ecoeficiencia del Sistema del Producto- Principios, Requisitos y Directrices*. CDMX, México: Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación, México, 13 de enero, 2017.
- SE, Secretaría de Economía (2009a) *NMX-AA-148-SCFI-2008, Agua potable, drenaje y saneamiento - eficiencia - metodología para evaluar la calidad de los servicios. Parte 1.- Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios*. CDMX, México, Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación, México, 3 de abril de 2009.
- SE, Secretaría de Economía (2009b). *NMX-AA-149/1-SCFI-2008, Agua potable, drenaje y saneamiento - eficiencia - Metodología para evaluar la eficiencia de los prestadores del servicio. Parte 1.- Directrices para la gestión de los prestadores del servicio de agua residual y para la evaluación de servicios de agua residual*. México, D.F.: Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación, México, 3 de abril de 2009.
- SE, Secretaría de Economía (2009c). *NMX-AA-149/2- SCFI-2008, Agua potable, drenaje y saneamiento - eficiencia - Metodología para evaluar la eficiencia de los prestadores del servicio. Parte 2.- Directrices para la gestión de los prestadores del servicio de agua potable y para la evaluación de servicios de agua potable*. México, D.F.: Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación, México, 3 de abril de 2009.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales(2016a). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. México, CDMX: SEMARNAT.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales(2016b). *Resumen Ejecutivo. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Edición 2015. México, CDMX: SEMARNAT.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014), Diario Oficial de la Federación de México DOF, *Programa Nacional Hídrico 2014-2018 Institucional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 2014-2018*, Recuperado el 10 de abril de 2017, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, MAPAS, CNA, Edición 2007, CNA-IMTA-SGT-GINT-001-2007 (Proyecto HC0758.3) del 2 de julio de 2007, Recuperado el 18 de junio de 2017, de <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007>
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998*.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1996). *Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997*.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1996). *Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-002-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998*.
- Sen, A. (2000). *Development as Freedom*. First Edition, Nueva York, E.U.: Anchor Books a division of Random House, Inc.
- Schaltegger, S., Burritt, R., Petersen, Holger (2003). *An Introduction to Corporate Environmental Management: Striving for Sustainability*, Management of Environmental Quality: An International Journal, 14 (4): 541-542

- Schaltegger, S., Sturm, A. (1990). *Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten. Die Unternehm. J.*, (4): 273 - 290. Recuperado el 2 de julio de 2017, de http://www.jstor.org/stable/24180467?seq=1#page_scan_tab_contents
- Standish, P. (1997). *Planning a Water Reuse Project*. Comunicación presentada en la Conferencia Especial sobre Reutilización de Agua y Biosólidos del WEF sobre el uso de agua reciclada y biosólidos, 6-7 de abril de 1997, Málaga, España.
- Seguí-Amortegui, L. (2004) *Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis técnico-económico y casos*. Tesis doctoral. Barcelona: Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Universidad Politécnica de Cataluña
- Sejenovich, H. (2015a), *Pobreza y Desarrollo Sustentable en la Gobernanza Ambiental en América Latina*, Buenos Aires, Argentina: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Sejenovich, H. (2015b), *Metodologías, instrumentos y conceptos para un desarrollo sustentable y socialmente justo. # 43*, Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://www.vocesenelfenix.com/content/metodolog%C3%ADas-instrumentos-y-conceptos-para-un-desarrollo-sustentable-y-socialmente-justo>
- Sejenovich, H. y Gallo Mendoza, G. (1996) "*Manual de Cuentas Patrimoniales*", PNUMA Fundación Bariloche, Recuperado el 4 de marzo de 2017, de <http://www.socioambiente.com.ar/seminario/seminario2a.htm>
- Segschneider, K. H. (2001). *10 Years after Rio. Debating Development Perspectives, A Concise Outlook on Sustainable Development Implementation, Heinrich Böll Foundation*. Recuperado el 2 de abril de 2017, de https://www.boell.de/de/04_thema/1132.html
- SIEMMENS, (2017). *Caudalímetro electromagnético SITRANS F M MAG 8000 / MAG 8000 CT*, Recuperado el 12 de septiembre de 2017, de <http://www.siemens.com>
- Soto Montes de Oca, G. (2007), *Agua: Tarifas, escasez y sustentabilidad en las megaciudades. ¿Cuánto están dispuestos a pagar los habitantes de la Ciudad de México?*, México. Estado de México: Litocom S.A. de C.V.
- Sunkel, O. y Paz, P. (1986). *El Subdesarrollo Latinoamericano y la Teoría del Desarrollo*, 23ª. Edición, México, D.F.: Siglo XXI.
- Sutton, P. (2000). *Ecological Sustainability*, Recuperado el 10 de marzo de 2017, de <http://www.greeninnovations.asn.au/ecolsust.htm>
- Stanford, B. D., Becker, W. C., Debroux, J. F., Ishii, S. K.L., Khan, S. J., Khunjar, W. O., (2016). *Planning for Direct Potable Reuse: Operational Aspects of an Integrated Drinking Water System. Journal AWWA, 108(4): 48-55. doi: 10.5942/jawwa.2016.108.006.*
- Sterner, T., Coria, J. (2012). *Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management. Second Edition*, Washington, DC: Resource for the Future.
- SNIM, *Sistema Nacional de Información Municipal* (2015). *Datos económicos, sociales y financieros del Municipio de Santiago, Nuevo León, México, Secretaría de Gobernación*, Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Snyder, S. A. (2014). *Emerging Chemical Contaminants: Looking for Better Harmony. Journal*, American Water Works Association. 106 (8), Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <https://www.awwa.org/publications/journal-awwa/table-of-contents.aspx?Issuelid=46498556>
- Spangenberg, J.; Pfahl, S. y Deller K. (2002). *Towards indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21. Ecological Indicators*, vol.2: 61-77, doi:10.1016/S1470-160X(02)00050-X
- Schmidheiny, S. (2000). *Ecoefficiency – creating more value with less impact. WBCSD – World Business Council for Sustainable Development*, Geneva: WBCSD.
- Schmidheiny, S. (1992). *BCSD, Cambiando el Rumbo. Primera Edición*, México, D.F. Fondo de Cultura Económica.
- Schmidheiny, S. (1992b). *Cambiando el Rumbo: una perspectiva global del empresariado para el desarrollo y el medio ambiente*, México, D.F. Fondo de Cultura Económica.
- Tian, J., Wang, CR; Lu, GF, (2009). *Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la evaluación de la ecoeficiencia*. *Barbilla. Rein. Prot. Sci.* 35: 118 - 120.
- Tianqun Xu, Ping Gao, Qian Yu and Debin Fang, (2017). *An Improved Eco-Efficiency Analysis Framework Based on Slacks-Based Measure Method*, *Journal Sustainability* 2017, 9(6), 952; doi:10.3390/su9060952
- TNC, The Nature Conservancy, (2015). *Uso del Agua en Nuevo León. Oferta y Demanda: Perspectiva del proyecto Monterrey VI*. Monterrey, Nuevo León: TNC.
- Tchobanoglous, G., Leverenz, H. (2013). *La justificación para la descentralización de la infraestructura de aguas residuales. En la separación en origen y la descentralización para la gestión de aguas residuales*. Larsen, TA, Udert, KM, Lienert, J., Eds.; Londres, Reino Unido: IWA Publishing.
- Tchobanoglous, G.; Leverenze, H.; Nellor, M.H.; Crook, J. (2011). *Direct Potable Reuse: A Path Forward; Water Reuse*. Virginia, E.U.: *Foundation Alexandria*.
- Tzanakakis, V.E.; Paranychianakis, N.V.; Angelakis, A.N. (2007), *Soil as a Wastewater Treatment System: Historical Development. Water Sci. Technol.: Water Supply* 2007, Number7, 67–76 Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://ws.iwaponline.com/content/7/1/67>
- Tzanakakis, V.E.; Koo-Oshima, S.; Haddad, M.; Apostolidis, N.; Angelakis, A.N. (2014). *The history of land application and hydroponic systems for wastewater treatment and reuse*. In *Evolution of Sanitation and Wastewater Management through the Centuries*; Angelakis, A.N., Rose, J.B., Eds.; London, UK: IWA Publishing
- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2017). *Mensaje de Irina Bokova, Directora General de la UNESCO, con motivo del Día Mundial del Agua*. Recuperado el 2 de octubre de 2017, de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizesandcelebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2017>
- UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development (2004). *A Manual for the Preparers and Users of Ecoefficiency Indicators*. United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva: United Nations, p.p. 2-30., New York and Geneva: United Nations.

- UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development (2001). *A Manual for the Preparers and Users of Ecoefficiency Indicators*. New York and Geneva: United Nations [online] [Cited 30 May 2006], Recuperado el 7 de mayo de 2017, de: http://www.ellipson.com/files/studies/Eco_eff_Guideline.pdf
- UNEP, United Nations Environment Programme (2012). *Africa Regional Preparatory Process for the United Nations Conference on Sustainable Development Rio+20*, United Nations Department of Economic and Social Affairs, England: UNEP
- UNWCED: United Nations World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*. (Reporte Brundtland), Nueva York: Oxford University press.
- Verfaillie, H. A. & Bidwell, R. (2000). *Measuring Eco-Efficiency, a guide to reporting company performance*, World Business Council for Sustainable Development. June, 2000: 6-21, ISBN 2-940240-14-0. Washington, D.C.: WBSCD, Recuperado el 12 de mayo de 2017, de <https://www.greenbiz.com/sites/default/files/document/O16F5702.pdf>
- Vellani, C.L. (2011) *Contabilidade e Responsabilidade Social: Integrando Desempenho Econômico, Social e Ecológico*. ISBN: 9788522464265, San Pablo, Brasil: Ed. Atlas.
- WWAP, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: UNESCO. Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource>
- WWAP, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (2016). *The United Nations World Water Development Report: Water and Job World*. París: UNESCO. Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>
- WWAP, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (2015). *The United Nations World Water Development Report: Water and Sustainable World*. París: UNESCO. Recuperado el 2 de abril de 2017, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>
- Wackernagel, M. y Rees, W. (2001). *Nuestra Huella Ecológica, Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra, Colección Ecología & Medio Ambiente*, Primera Edición en Español, p.p. 47-65, 96-114, Santiago, Chile: LOM Ediciones
- WEF (Foro Económico Mundial). (2016). *The Global Risks Report*. Ginebra, Suiza: WEF. [wef.ch/risks](http://www.wef.ch/risks).
- WBG, World Bank Group (2016). *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy*. Washington, DC: WBG.
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2017). *Business guide to circular water management: Spotlight on reduce, reuse and recycle*. June, 2017:7, 32-35. Geneva, Switzerland: WBSCD
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2012). *Water for Business: Initiatives guiding sustainable water management in the private sector*. August, 2012:6-9, 13-32. Washington, D.C.: WBSCD
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2010). *Visión 2050: La nueva agenda para los negocios*. ISBN: 978-3-940388-56-8 Ginebra, Suiza: WBSCD, Recuperado el 2 de abril de 2017, de www.wbcsd.org/contentwbc/download/1746/21728.
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2006a). *Ecoefficiency*. Ginebra, Suiza: WBSCD, Recuperado el 2 de marzo de 2017, de www.wbcsd.org.
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development, (2006b). *Developing the Eco-efficiency: Learning module*. ISBN: 2-940240-84-1. Geneva, Switzerland: WBSCD.
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2000a). *Ecoeficiencia: Creando más Valor con menos Impacto*. Ginebra, Suiza: WBSCD, Recuperado el 2 de abril de 2017, de http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value-panish.pdf
- WBSCD, World Business Council for Sustainable Development (2000b). *Changing Course: A global business perspective on development and the environment*. Ginebra, Suiza: WBSCD, Recuperado el 2 de abril de 2017, de http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value-panish.pdf
- WCED, World Commission on Environment and Development (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro Futuro Común, Transmitido a la Asamblea General como anexo al documento A / 42/427 - Desarrollo y Cooperación Internacional: Medio Ambiente*; Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Silva, G.C.S. & Medeiros, D.D. (2004). *Environmental management in Brazilian companies*. Management of Environmental Quality: An International Journal. 15(4): 380-388.
- Wu, J., Yin, PZ, Sun, JS, Chu, JF, Liang, L. (2016). *Evaluar la eficiencia medioambiental de un sistema de dos etapas con resultados no deseados por un enfoque DEA: Una perspectiva de preferencia de interés*. EUR. J. Oper. Res. 2016 (254): 1047- 1062.
- Xin (Cissy) M., Xiaobo X., González-Mejía, A., Garland, J., y Cashdollar, J., (2015). *Sustainable Water Systems for the City of Tomorrow— A Conceptual Framework*, Journal Sustainability 2015, 7(9), 12071-12105; doi:[10.3390/su70912071](https://doi.org/10.3390/su70912071)
- Yl, B. (2011). *Ecoeficiencia industrial. Cómo alcanzar la ecoeficiencia a través del ecodiseño y de la ecología industrial*. Pamplona, España: Red Energía y Medio Ambiente.
- Yuso, A. (2017). *En México es viable el intercambio de aguas tratadas por aguas blancas: Reúso de agua residual tratada en la agricultura*, ANEAS, Agua y Saneamiento, 16 (71):27.
- Zhou, J.B.; Jiang, M.M.; Chen, B.; Chen, G.Q. (2009). *Evaluaciones Emergy para los humedales construidos y tratamientos convencionales de aguas residuales*. Comunicaciones en Ciencia No Lineal y Simulación Numérica, 2009(14): 1781-1789.
- Zhu, DJ; Qiu, (2008). *Ecoeficiencia de los indicadores y su demostración como la medición de la economía circular en China*. Resour. Reinar. Cuenca del Yangtze, 2008(17): 1-5.

ANEXO A

- a) **Planeación en SAART existente por el método de Takashi Asano.**Elaboración propia con base en el método de Takashi Asano (Asano, 1991; Asano, 2002; Asano & Levine, 1996).

Planificación conceptual de viabilidad y a detalle

1.-Características de zona de estudio:

El Municipio de Santiago, Nuevo León forma parte de la zona metropolitana de la Ciudad de Monterrey (NADBANK, 2014), ubicado geográficamente en las inmediaciones de la Sierra Madre Oriental, con coordenadas 25°26' de latitud norte y 100°08' de longitud oeste, (Caballero, 2015) y una altitud entre 300 y 3,500 m.s.n.m.; colinda al norte con los municipios de Santa Catarina, Monterrey y Cadereyta Jiménez; al este con los municipios de Cadereyta Jiménez, Allende y Montemorelos; al sur con los municipios de Montemorelos y Rayones y el estado de Coahuila de Zaragoza; al oeste con el estado de Coahuila de Zaragoza y el municipio de Santa Catarina. (INEGI, 2010).

Su clima es semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano, de acuerdo con la clasificación hecha por Köppen y adaptada por E. García para las condiciones de México. (DOF, 2015), cuya precipitación media anual de 1923 a 2015 fue de 1 031.7mm. (INEGI, 2016), su temperatura media anual es de 20.4°C y presenta una variación con tendencia parabólica, de hasta 42°C y - 3 °C (DOF, 2015).

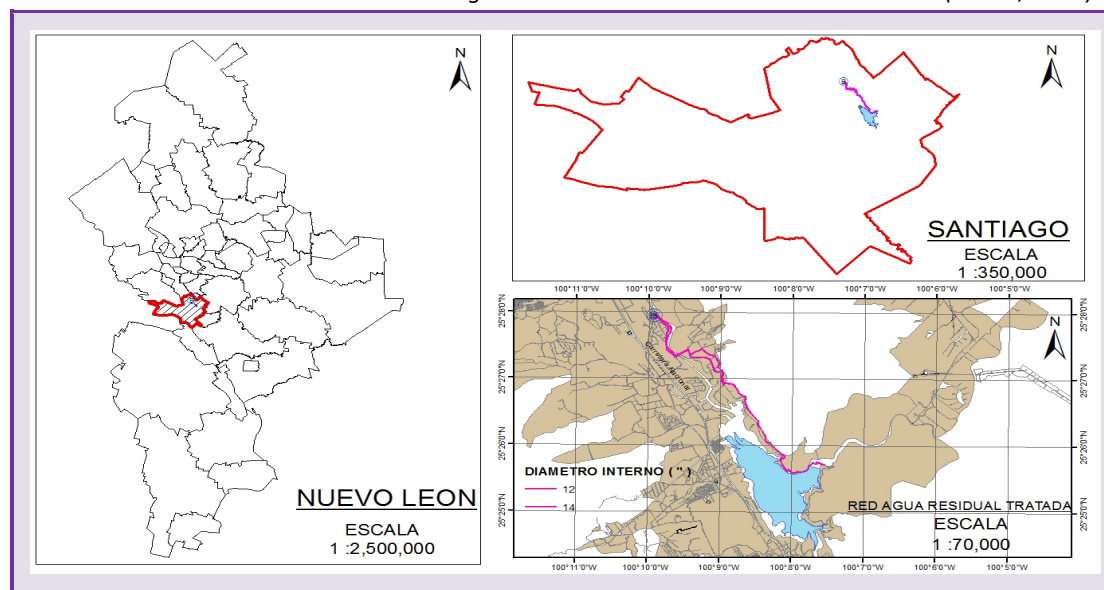
Su extensión es de 753.8 Km2 representando solo el 1.2% de la extensión total del estado cuenta con 232 localidades y una población total de a 2015 de 42,407 habitantes (INEGI, 2016), y una proyección de crecimiento poblacional que superará los 50,000 habitantes en el año 2030 (CONAPO, 2017); cuenta con 18,116 viviendas, de las cuales, el 90.52% de viviendas tiene servicio de agua entubada y 97.54% con sanitario, así como 98.81% tiene energía eléctrica. (INEGI, 2016),

Posee un Índice de Desarrollo Humano de 0.902, ubicado entre el rango de 0.696214 y 0.917404, el cual es considerado como de Muy Alto Desarrollo; en tanto que a nivel estatal se tiene un valor de 0.790 y a nivel nacional México un valor de 0.739. (PNUD, 2014), en tanto que se encuentra entre los municipios de menor condición de pobreza con un valor de 19.5%, el cual es menor al valor estatal en el mismo periodo que fue de 21% (CONEVAL, 2010) y un PIB per cápita en 2015 de US\$ 20,371 (SNIM, 2015).

Su gestión hídrica puede ser considerada como no sostenible a pesar de encontrarse inmerso en una zona de considerada de gran cantidad de recursos hídricos, al mantener un déficit de disponibilidad de del agua superficial de 82.136 Millones de metros cúbicos (Mm³) en la cuenca hidrológica Río San Juan 1 (DOF, 2016) y de 1.755 Millones de metros cúbicos (Mm³) en el acuífero Cañón del Huajuco (DOF, 2015).

El SAART existente inicial, cuya localización se muestra, se constituía principalmente de 3 Bombas instaladas en un cárcamo húmedo con motores de 100 H.P. cada una para vencer una carga hidráulica de más de 100 metros de altura, desde su extracción del efluente tratado en la planta de tratamiento al nivel de la

cota 423 m.s.n.m, y conducir un caudal comprometido de 90 litros por segundo para alimentar dos lagos artificiales del club de golf al interior de Hacienda Las Misiones, a través de una tubería de acero de 12" de diámetro y de más de 14 kilómetros de longitud total dirigida hacia el noroeste, con un primer punto de descarga en la cota de nivel 529 m.s.n.m del primer lago y un punto final de descarga en la cota 543 m.s.n.m. en el segundo lago; en tanto que el ART excedente sería vertido en la cuenca hidrológica numero 33 denominada Río San Juan 1 (SADM, 2017)



Su inicio es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santiago (P'tar Santiago), la cual se localiza en el margen del Río San Juan, en la zona adjunta a la cortina de la Presa Rodrigo Gómez, La Boca; construida por el entonces Sistema Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Nuevo León (SISTELEON) a inicios de la década de 1990 mediante "Lagunas Aireadas" con capacidad de hasta 140 litros por segundo, la cual ampliada a 200 litros por segundo y cambiado su proceso de tratamiento a Lodos Activados en los inicios de la década de 2000 (SADM, 2017).

2.-Características y necesidades del suministro de agua de primer uso:

La Calidad del Agua potable debe cumplir los parámetros establecidos en la **NOM-127-SSA1-1994**, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (DOF, 2000) y la necesidad de suministro se estima superior a los 11,500 litros por segundo para el área conurbada de la ciudad de Monterrey que incluye al municipio de Santiago, Nuevo León. (NADBANK, 2014).

3.-Características y necesidades del suministro de agua residual tratada:

La calidad del ART saliendo de un tratamiento debe cumplir estrictamente con las Normas Oficiales Mexicanas:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Valores máximos permisibles de DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), Coliformes fecales (bacterias fecales detectadas según el “Número Más Probable”) y Nitrógeno Total.

Parámetro	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Servicios al público con contacto directo*
	NOM-001-SEMARNAT-1996		NOM-003-SEMARNAT-1997	
DBO ₅ (mg/l)	150	75	30	20
Coliformes fecales NMP/100ml	n.d	n.d.	1000	240
N _{total}	40	40	n.d.	n.d.

La demanda inicial de suministro de ART en Santiago, Nuevo León se estima de tan solo **35** litros por segundo como máximo, por lo que se necesita gestionar la demanda para llegar a ser lo más próxima a la capacidad de tratamiento de la P'tar Santiago, que es de 200 litros por segundo, y contar con un óptimo sistema de abastecimiento de los efluentes tratados.

4.-Requerimientos de tratamiento para vertido y reúso específico:

La calidad del ART saliendo del tratamiento de la P'tar Santiago a través del proceso de **Lodos Activados deberá** cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Valores máximos permisibles de DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), Coliformes fecales (bacterias fecales detectadas según el “Número Más Probable”) y Nitrógeno Total.

Parámetro	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Servicios al público con contacto directo*
	NOM-001-SEMARNAT-1996		NOM-003-SEMARNAT-1997	
DBO ₅ (mg/l)	150	75	30	20
Coliformes fecales NMP/100ml	n.d	n.d.	1000	240
N _{total}	40	40	n.d.	n.d.

Ello para que los efluentes tratados puedan destinarse para su reúso el reúso en riego de campos de golf, jardines, fuentes de hornato, sistemas contra incendio y lagos artificiales de acuerdo con la normativa Mexicana y el documento de Directrices para Reúso de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA, 2012).

Clasificación		Descripción
Reúso Urbano	No Restringido	El reúso de ART o regenerada para aplicaciones no potables en entornos municipales donde el acceso público no está restringido.
	Restringido	El reúso de ART o regenerada para aplicaciones no potables en entornos municipales donde el acceso público es controlado o restringido por barreras físicas o institucionales, como esgrima, señalización de asesoramiento o restricción de acceso temporal.
Reúso Agrícola	Cultivos Alimenticios.	El reúso de ART o regenerada para irrigar cultivos alimentarios destinados al consumo humano.
	Procesado de Cultivos Alimenticios y Cultivos No Alimenticios.	El reúso de ART o regenerada para regar los cultivos que se procesan antes del consumo humano o no se consumen por los seres humanos.
Reúso en Embalses	No Restringido	El reúso de ART o regenerada en un embalse en el que no se imponen limitaciones a las actividades recreativas acuáticas de contacto corporal.

	<i>Restringido</i>	<i>El reúso de ART o regenerada en un embalse donde el contacto corporal está restringido.</i>
<i>Reúso Medioambiental</i>		<i>El reúso de ART o regenerada para crear, mejorar, sostener o aumentar las masas de agua incluyendo humedales, hábitats acuáticos o caudales.</i>
<i>Reúso Industrial</i>		<i>El reúso de ART o regenerada en aplicaciones e instalaciones industriales, producción de energía y extracción de combustibles fósiles.</i>

5.-Clientes potenciales de reúso de efluentes tratados:

Dentro de un análisis general se estimó que en la Zona Huajuco del Sur del Municipio de Monterrey existe un crecimiento urbano acelerado y a lo largo de la Carretera 85 Monterrey-Linares (SEDUE, 2012), así como en la zona norte del Municipio de Santiago, en donde se tienen campos de golf, diversos desarrollos de centros comerciales, así como centros deportivos y viveros de plantas, cuyos usos de agua no requieren de calidad potable, los cuales se consideran clientes potenciales para el reúso de efluentes tratados, a fin de sustituir la utilización de agua potable para sus procesos e instalaciones, y a su vez incrementar la disponibilidad de agua de primer uso en la región.

6.-Análisis de alternativas de proyecto y viabilidad:

La alternativa número uno es la optimización EE del sistema de abastecimiento inicial de ART P'tar Santiago-Las Misiones, en virtud de que representantes del Club de Golf Las Misiones indicaron al organismo operador, Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. (SADM), que la calidad del ART suministrada mejoró al cambiar de Lagunas Aireadas a Lodos Activados, sin embargo, no existía la capacidad real para suministrar los 90 litros por segundo convenidos, por lo cual su consumo era bajo. Dicha condición fue analizada en operativamente en el año 2008, destacándose que existían áreas importantes de oportunidad en el sistema existente, ya que a pesar de la capacidad instalada, no se podía alcanzar el caudal convenido por las condiciones de la infraestructura existente, lo cual era viable mediante implementación de acciones operativas. (SADM, 2017).

Como segunda a segunda alternativa se consideró el aprovechamiento y rehabilitación de más de 10 kilómetros de la línea de acero de 12" de diámetro del antiguo oleoducto Linares-San Rafael de Petróleos Mexicanos (PEMEX) que (SADM) mantenía en comodato, y reforzar el suministro al Club de Golf Las Misiones desde el sistema P'tar San Rafael-Cárcamo Huajuco existente, sin embargo, la P'tar San Rafael abastece a una cantidad importante de industrias, cuya demanda de ART estaba en crecimiento, aunado a los compromisos que prevalecen desde 1965 con algunas empresas que cedieron los derechos del agua de la Presa Rodrigo Gómez, La Boca durante las negociaciones de intercambio de agua de primer uso por ART. (SADM, 2017).

La Tercera Alternativa planteada es la rehabilitación del Cárcamo El Faisán y su reconexión a la línea de acero de 12" de diámetro del antiguo oleoducto Linares-San Rafael, su optimización EE para interconectarse con el Cárcamo Huajuco, y establecer un sistema ampliado y redundante denominado P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, mediante el cual se incrementara la cobertura de reúso de los efluentes tratados por la P'tar Santiago a toda la zona noroeste del Municipio de Santiago y a la Zona Huajuco del sur de Monterrey, a fin de que fuera factible el suministro de ART para campos de golf y nuevos desarrollos comerciales de la zona, los cuales, al no existir otra alternativa de abastecimiento, utilizan agua de calidad potable suministrada por los Acueductos Santiago I y II proveniente del Sistema Santiago-Monterrey, conformado por La Presa Rodrigo Gómez, La Boca, Galerías Filtrantes San Francisco y Cola de Caballo I y II. (SADM, 2017).

Todas las alternativas se consideraban como viables técnicamente. (SADM, 2017).

7.-Plan recomendado en base a propuestas y criterios de diseño:

El análisis efectuado por la Dirección de Operación de SADM a través de su Comité de Calidad, recomendaron combinar la primera y tercer alternativa por su enfoque ambiental en la búsqueda de alternativas de sostenibilidad hídrica, así mismo, y dado que no existían bases de diseño para los SAART en México, se recomendó el análisis de implementación de acciones EE's aplicables a dichos sistemas, a partir de la capacitación general de personal profesional en Israel. Así mismo, la Dirección de Ingeniería, ante la falta de criterios de diseño y especificaciones para equipamientos, continuaría utilizando las existentes para sistemas de abastecimiento de agua potable, y mediante los resultados de funcionalidad de las acciones EE's que se implementaran realizaría paulatinamente cambios en sus criterios de diseño.

8.-Plan de Construcción y Financiamiento:

La Dirección de Operación a través de los acuerdos sostenidos en las Revisiones directivas de su Comité de Calidad estableció el Plan siguiente:

- a) Integrar un equipo adscrito a la Gerencia de Distribución para el análisis y mejora mediante la implementación de acciones EE's en el Sistema P'tar Santiago-Las Misiones y la ampliación de cobertura del suministro de los efluentes tratados en la P'tar Santiago hasta el Cárcamo Huajuco, integrando el Sistema P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.
- b) Gestionar con apoyo de la Dirección de Proyectos sustentables, acciones coordinadas para el incremento de los clientes e intercambio de suministro de agua de primer uso por ART en la zona, como acciones fundamentales para la sostenibilidad hídrica regional.
- c) Gestionar y coordinarse con la Dirección de Ingeniería para las obras de rehabilitaciones mayores y equipamientos tecnológicos del sistema P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco, que permitiesen la optimización del mismo y trasladar dichos cambios a los nuevos sistemas en proyecto y a los existentes.

El Financiamiento de las acciones sería en dos vertientes:

I.-Mediante Recursos propios de SADM del presupuesto de gasto corriente de la Dirección de Operación para las acciones de mejora operacional básica del sistema P'tar Santiago-Cárcamo Huajuco.

II.-Mediante Recursos de Inversión radicados del financiamiento establecido por el NADBANK a través del crédito establecido a SADM de 300 millones de pesos. (NADBANK, 2006)

- b) Planeación en SAART existente mediante el método del WBSCD.** Elaboración Propia a partir de las Directrices para los negocios a medida: Enfoques para reducir el uso del agua, reutilización y reciclaje de agua (WBSD, 2017, pp. 32-35) y datos proporcionados por el organismo operador S.A.D.M. 2017 en el Sistema de Gestión de Calidad Institucional certificado bajo la Norma ISO 9001:2008. www.sadm.gob.mx.

Listas de Verificación WBSCD para reducir el uso del agua, reutilizar o reciclar el agua		
Lista de verificación 1. Lista de comprobación de Factores Clave de Éxito		
Factores Clave de Éxito	Cumple	Observación
Cultura y liderazgo de la empresa: Apoyo de la alta Gerencia ganado.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Enfoque de proyecto integrado: Oportunidades para reutilizar o reciclar el agua y asegurar la sostenibilidad Integrado en las primeras fases del proyecto evaluado.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Cambio de mentalidad: La preocupación por el costo, el valor y los recursos humanos sustituidos por el conocimiento del valor potencial, los ahorros y los ingresos	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Herramientas y soporte: Datos, tales como balance de agua y riesgos, proporcionados por herramientas apropiadas	SI	Dirección de Operación de SADM, 2017.
Normas y puntos de referencia: Mejoras operacionales requeridas para el uso eficiente del agua en el mantenimiento Equipos de control, estrategias de control y para compartir y transferir conocimientos entre Operaciones establecidas en normas y puntos de referencia.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Buen gobierno de la cuenca: Responsabilidades de los usuarios para el suministro contrato de interacción	SI	Documentado en el MC-INT-01 al MC-INT-12 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Lista de verificación 2. Lista de verificación reglamentaria y de calidad.		
Reglamentación y Calidad.	Cumple	Observación
Sistema regulatorio: Considera el marco regulatorio existente, requisitos	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad

<i>de calidad aptos para el propósito y riesgo regulatorio para los efluentes concentrados debido a proyectos de reutilización o reciclaje de agua determinados.</i>		<i>Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>
Marca mejorada: <i>El potencial para la promoción de la capacidad de la empresa y la inversión en la protección de los suministros de agua, la re-marca de la empresa, por ejemplo, como un pionero en la reutilización del agua y los beneficios sociales y regulatorios destacó.</i>	SI	<i>Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>
Tecnología y alternativas: <i>Se consideran las tecnologías existentes y usos alternativos potenciales de los desechos (por ejemplo, utilización eficiente del agua) y aguas residuales (por ejemplo, descarga cero).</i>	SI	<i>Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>

Lista de verificación 3. Lista de verificación de recursos.

Recursos	Cumple	Observación
Apoyo de la Dirección: <i>Apoyo de la gestión en su lugar.</i>	SI	<i>Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>
Enfoque de proyecto integrado: <i>Oportunidades para integrar la reutilización o reciclaje del agua y la sostenibilidad en las primeras fases del proyecto evaluado.</i>	SI	<i>Proyecto de Mejora documentado en Revisiones Directivas de Comité de Calidad de la Dirección de Operación de SADM, EQDZ.</i>
Retorno de la inversión: <i>Plan de negocios que muestra el verdadero costo del agua, beneficios no financieros, agua asociada. Los riesgos empresariales y el reconocimiento y cálculo de los posibles fondos y donaciones preparados.</i>	SI	<i>Presupuesto de Gasto Corriente de la Dirección de Operación de SADM, Crédito NADBANK, Recursos de Programas Federales.</i>
Infraestructura de sostenibilidad: <i>Recursos potenciales y cultura de la empresa para iniciar o fortalecer Infraestructura para apoyar la reutilización o reciclaje de agua.</i>	SI	<i>Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>
Sistema de mejora operacional: <i>Sistema para mejorar las operaciones para lograr un uso eficiente del agua Mantenimiento, monitoreo, controles, y compartir y transferir conocimientos entre operaciones similares en su lugar.</i>	SI	<i>Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.</i>

Programa de monitoreo: Programa de monitoreo de recolección de insumos y datos, y evaluación de resultados y progreso en la reutilización o reciclaje de agua en su lugar.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Lista de verificación 4. Lista de control de sensibilización.		
Sensibilización	Cumple	Observación
Base de datos de agua: Sistema de recolección y monitoreo de datos para facilitar el análisis confiable de los problemas hídricos creados e implementado.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Herramientas: Los datos sobre cuestiones relacionadas con el agua elaborados con instrumentos apropiados constituyen una base para la difusión de experiencias.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Aumento de la conciencia: Toda la cadena de proceso - el personal clave del sitio desde el liderazgo a los operadores - comparte una percepción común del valor del agua y prioriza la reutilización y el reciclaje del agua.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008 y EQDZ.
Reconocimiento del estrés hídrico: Los riesgos operacionales del estrés hídrico se reconocen y se realizan evaluando los impactos del estrés hídrico sobre las operaciones de la empresa y participando en plataformas de agua existentes.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Lista de verificación 5. Lista de verificación del diálogo.		
Diálogo	Cumple	Observación
Participación en plataforma compartida de usuarios de agua: Las interacciones con otros usuarios de agua en la cuenca proporcionan información sobre el balance general del agua, el impacto de la descarga de agua de la compañía y la posición de la compañía en la escala de uso del agua en la cuenca.	SI	Centro de información y Servicio de SADM y Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.
Conexiones con las autoridades locales del agua: El diálogo con la junta de agua, las compañías de agua y las autoridades ambientales.	SI	Documentado en el MC-INT-07 del Sistema de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008.

c) **Planeación en SAART existente mediante el método del ECLAC.**Elaboración Propia a partir de las Directrices para el desarrollo de infraestructuras ecoeficientes y socialmente inclusivas (ESCAP, 2011, pp. 59-61).

ETAPA A: ¿Dónde estamos ahora?	ETAPA B: ¿A dónde queremos ir?
<p>Paso 1.- COMENZAR: Se obtuvo un compromiso de la Dirección de Operación de SADM para la planeación, implementación y evaluación mediante el Comité de Calidad del Sistema de gestión certificado en la Norma ISO-9001:2008.</p> <p>Paso 2.- IDENTIFICAR A LAS PARTES INTERESADAS: Identificar a las partes interesadas, siendo las principales: Usuarios, Dirección Comercial, Dirección de Proyectos Sustentables, Ayuntamiento de Santiago, N.L y se establecieron mejoras en la comunicación y alcances de participación.</p> <p>Paso 3.- ANALIZAR Y EVALUAR: Se creó el perfil de Santiago, N.L. y el SAART, identificando aspectos naturales y administrativos, la infraestructura evaluación de E.E.</p>	<p>Paso 4.- ESTABLECER UNA VISIÓN: Se definió como “Lograr al año 2030 el desarrollo hídrico sostenible mediante el uso de herramientas como la implementación de la Ecoeficiencia en el reúso del ART”, iniciando en el SAART P’tar Santiago-Cárcamo Huajuco.</p> <p>Paso 5.- FIJE LOS OBJETIVOS: Se identificaron como objetivos iniciales los señalados en la presente tesis, así como Identificar y organizar las condiciones presentes, asegurándose de que son EEs dentro de determinación de la línea base y se seleccionaron indicadores de medición finales basados en la serie de normas ISO 24510, 24511 y 24512 en su versión Mexicana.</p>
ETAPA D: ¿Estamos llegando allí?	ETAPA C: ¿Cómo llegamos allí?
<p>Paso 9.- MONITOREAR Y EVALUAR: Se estableció como marco de monitoreo y evaluación el propio Sistema de Gestión de la Calidad a través del Comité de Calidad de Operación de SADM.</p> <p>Paso 10 AJUSTE Y MODIFIQUE: Conforme al paso anterior, se realizará el seguimiento de las etapas A y B, periódicamente en función del grado de cumplimiento de los objetivos por el Comité de Calidad de Operación de SADM.</p>	<p>Paso 6.- IDENTIFICAR ACCIONES Y ESTRATEGIAS: Implementar acciones EEs a partir de la Planeación en los diferentes componentes del SAART, para lo cual se generaron ideas de acción para lograr sus objetivos, se organizó un grupo de personal de la Gerencia de Distribución enfocado a ello para el desarrollo de las estrategias.</p> <p>Paso 7.-SELECCIONE ACCIONES: Se analizaron las consecuencias de las acciones, priorizaron las mejores acciones disponibles.</p> <p>Paso 8.- ACCIONES DE IMPLEMENTACIÓN: Se identificaron las brechas institucionales creando un departamento especializado que no existía e identificaron las actividades principales, y procesos establecidos, elaboraron un plan general de acción.</p>

ANEXO B

Evaluación de Ecoeficiencia 2006 mediante indicadores asociados a sostenibilidad hídrica ISO-24500. Elaboración Propia adaptada a partir de Normas NMX-AA-148-SCFI-2008, (SE, 2009a); de NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) y NMX-AA-149/1-SCFI-2008 ((SE, 2009c) y de la información brindada por la Dirección de Proyectos, Operación e Ingeniería (SADM, 2017).

Norma	Componente	Indicador recomendado	Definición	Regla de Procesamiento o Formula	Línea Base a 2006
ISO 24510:2007: Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual - Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios. (NMX-AA-148-SCFI-2008)	Ambiental	Capacidad de tratamiento de agua residual (%) .	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual con relación al total de agua residual generada.	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual (6,307,200 m ³) / Volumen total del agua residual generada (4,571,980 m ³) x 100.	100%
	Económico	Exactitud en los registros de pago.	Cantidad de consultas de los clientes sobre registros y pagos realizados por cliente por año.	Consultas recibidas en un período calendario por el operador u organismo responsable sobre pagos realizados en un año (6)/Cantidad de clientes (1).	6 C
	Social	Presurización de la red de agua	Porcentaje de la cantidad de horas en un año en las que la red de agua está presurizada.	(Horas en las que la red de agua está presurizada durante el año (6132.) / 24 / 365 x 100.	70 %
ISO 24511:2007:Actividades	Ambiental	Reutilización de agua residual (%)	Porcentaje de ART que se reutiliza.	Volumen de ART rehusada (535,107 m ³)/volumen de ART por la empresa(4,571,980 m ³) x 100, durante el período de evaluación.	11.70 %
	Económico	Ingresos unitarios por Reúso de	Monto recaudado por la venta de ART.	(479,167m ³ de Volumen de ART suministrada a usuarios)*(7.1893	\$ 3,444,867.00

<p><i>relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual y para la evaluación de los servicios de agua residual. (NMX-AA-149/1-SCFI-2008)</i></p>		ART.		<i>\$/m³ Precio tarifario promedio) durante el periodo de evaluación.</i>																				
	Social	Calidad del efluente dispuesto o reutilizado.	<i>Análisis comparativo del cumplimiento de parámetros de la Norma NOM-SEMARNAT-003-1997</i>	<p><i>Límites máximos permisibles de contaminantes</i></p> <table border="1"> <tr> <td>Coliformes Fecales NMP100/ml</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>DBO5 mg/l</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>30</td> </tr> </table>	Coliformes Fecales NMP100/ml	1000	Huevos de Helminto h/l	5	Grasas y Aceites Mg/l	15	DBO5 mg/l	30	SST mg/l	30	<p><i>Resultados de estudios de contaminante (Informe2008)</i></p> <table border="1"> <tr> <td>C.F. NMP100/ml</td> <td>929.67</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>12.89</td> </tr> <tr> <td>DBO5 mg/l</td> <td>13.73</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>12.425</td> </tr> </table>	C.F. NMP100/ml	929.67	Huevos de Helminto h/l	0.4	Grasas y Aceites Mg/l	12.89	DBO5 mg/l	13.73	SST mg/l
Coliformes Fecales NMP100/ml	1000																							
Huevos de Helminto h/l	5																							
Grasas y Aceites Mg/l	15																							
DBO5 mg/l	30																							
SST mg/l	30																							
C.F. NMP100/ml	929.67																							
Huevos de Helminto h/l	0.4																							
Grasas y Aceites Mg/l	12.89																							
DBO5 mg/l	13.73																							
SST mg/l	12.425																							
<p>ISO 24512:2007 <i>Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual - Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable. (NMX-AA-149/2-SCFI-2008)</i></p>	Ambiental	Minimizar las extracciones de los recursos hídricos naturales mediante Agua abastecida reutilizada.	<i>Porcentaje de agua que entra al sistema que se reutiliza.</i>	<i>Agua abastecida reutilizada durante el periodo de Evaluación (535,107 m³) / volumen de entrada al sistema durante el periodo de evaluación(4,571,980 m³) (m3) x 100, (Periodo Anual preferente)</i>	11.70%																			
	Económico	Eficiencia Física y Comercial del Sistema de ART	<i>La eficiencia física (ηfísica) se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento y se calcula en porcentaje. La eficiencia comercial</i>	$\eta_{física} = (\text{Vol Consumido medido } (479,167 \text{ m}^3) / \text{Vol Suministrado } (535,107 \text{ m}^3)) * 100$ $\eta_{comercial} = \text{Vol Consumido medido facturado } (479,167 \text{ m}^3) / \text{Vol cobrado } (479,167 \text{ m}^3) * 100$	<p>ηfísica = 89.54%</p> <p>ηcomercial=100%</p>																			

			<i>(ηcomercial) se refiere a la relación de los volúmenes facturados respecto a los cobrados y se calcula en porcentaje.</i>		
	<i>Social</i>	<i>Cumplir con las expectativas de los usuarios.</i>	<i>Porcentaje de cumplimiento de la demanda de agua contratada en el sistema.</i>	<i>Caudal de ART disponible para reúso (144.6 lps)/ Caudal Contratado de ART (90 lps) lps) x 100, (Periodo de evaluación)</i>	160.6%

ANEXO C

Evaluación de la Ecoeficiencia 2016 respecto a línea base 2006 del SAART P´tar Santiago-Huajuco mediante indicadores asociados a sostenibilidad hídrica ISO-24500. Elaboración Propia adaptada a partir de Normas NMX-AA-148-SCFI-2008, (SE, 2009a); de NMX-AA-149/1-SCFI-2008 (SE, 2009b) y NMX-AA-149/1-SCFI-2008 ((SE, 2009c) y de la información brindada por la Dirección de Proyectos, Operación e Ingeniería (SADM, 2017).

Norma	Componente	Indicador	Definición	Línea Base a 2006	Procesamiento	Resultados a 2016
ISO 24510: 2007:(NMX-AA-148-SCFI-2008)	Ambiental	Capacidad de tratamiento de agua residual (%).	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual con relación al total de agua residual generada.	100%	Capacidad total de las plantas de tratamiento de agua residual (6,307,200 m ³) / Volumen total del agua residual generada (4,790,318.4 m ³) x 100.	100%
	Económico	Exactitud en los registros de pago.	Cantidad de consultas de los clientes sobre registros y pagos realizados por cliente por año.	2 C	Consultas recibidas en un período calendario por el operador u organismo responsable sobre pagos realizados en un año (2)/Cantidad de clientes (1).	2 C
	Social	Presurización de la red de agua	Porcentaje de la cantidad de horas en un año en las que la red de agua está presurizada.	70 %	(Horas en las que la red de agua está presurizada durante el año: (8760/24)= 365 (365/365) x 100= 100	100 %
ISO 24511: 2007:(NMX-	Ambiental	Reutilización de agua residual (%)	Porcentaje de ART que se reutiliza.	11.70 %	Volumen de ART rehusada (945,449.28 m ³)/volumen de ART por la empresa(4,790,318.4 m ³) x 100, durante el periodo de evaluación.	19.74 %
	Económico	Ingresos unitarios por	Monto recaudado por la venta de ART.	\$ 3,444,867.00	(945,449.28 m ³ de Volumen de ART suministrada a usuarios)*(11.293	\$ 10,677,174.00

AA-149/1-SCFI-2008)		Reúso de ART.			\$/m³Precio tarifario promedio) durante el período de evaluación.																														
	<i>Social</i>	Calidad del efluente dispuesto o reutilizado.	<i>Análisis comparativo del cumplimiento de parámetros de la Norma NOM-SEMARNAT-003-1997</i>	<table border="1"> <tr> <td>C.F. NMP 100/ml</td> <td>929.67</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>12.89</td> </tr> <tr> <td>DBO 5 mg/l</td> <td>13.73</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>12.425</td> </tr> </table>	C.F. NMP 100/ml	929.67	Huevos de Helminto h/l	0.4	Grasas y Aceites Mg/l	12.89	DBO 5 mg/l	13.73	SST mg/l	12.425	<table border="1"> <tr> <td>C.F. NMP 100/ml</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>DBO 5 mg/l</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>30</td> </tr> </table>	C.F. NMP 100/ml	1000	Huevos de Helminto h/l	5	Grasas y Aceites Mg/l	15	DBO 5 mg/l	30	SST mg/l	30	<table border="1"> <tr> <td>C.F. NMP 100/ml</td> <td>895.6</td> </tr> <tr> <td>Huevos de Helminto h/l</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>Grasas y Aceites Mg/l</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>DBO 5 mg/l</td> <td>5.50</td> </tr> <tr> <td>SST mg/l</td> <td>11.75</td> </tr> </table>	C.F. NMP 100/ml	895.6	Huevos de Helminto h/l	0.6	Grasas y Aceites Mg/l	5.8	DBO 5 mg/l	5.50	SST mg/l
C.F. NMP 100/ml	929.67																																		
Huevos de Helminto h/l	0.4																																		
Grasas y Aceites Mg/l	12.89																																		
DBO 5 mg/l	13.73																																		
SST mg/l	12.425																																		
C.F. NMP 100/ml	1000																																		
Huevos de Helminto h/l	5																																		
Grasas y Aceites Mg/l	15																																		
DBO 5 mg/l	30																																		
SST mg/l	30																																		
C.F. NMP 100/ml	895.6																																		
Huevos de Helminto h/l	0.6																																		
Grasas y Aceites Mg/l	5.8																																		
DBO 5 mg/l	5.50																																		
SST mg/l	11.75																																		
ISO 24512:2007 (NMX-AA-149/2-SCFI-2008)	<i>Ambiental</i>	Minimizar las extracciones de los recursos hídricos naturales mediante Agua abastecida reutilizada.	<i>Porcentaje de agua que entra al sistema que se reutiliza.</i>	11.70%	<i>Agua abastecida reutilizada durante el período de Evaluación (945,449.28 m³) / volumen de entrada al sistema durante el período de evaluación(4,571,980 m³) (m3) x 100, (Periodo Anual preferente)</i>	11.70%																													
	<i>Económico</i>	Eficiencia	<i>La eficiencia física</i>		<i>ηfísica = (Vol Consumido</i>																														

		Física y Comercial del Sistema de ART	<i>(ηfísica) se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento y se calcula en porcentaje. La eficiencia comercial (ηcomercial) se refiere a la relación de los volúmenes facturados respecto a los cobrados y se calcula en porcentaje.</i>	η física = 89.54% η comercial=100%	<i>medido(945,449.28 m³) / Vol Suministrado(945,449.28 m³) * 100</i> <i>ηcomercial = Vol Consumido medido facturado(945,449.28 m³) / Vol cobrado (945,449.28 m³) * 100</i>	ηfísica = 100% ηcomercial=100%
	Social	Cumplir con las expectativas de los usuarios.	<i>Porcentaje de cumplimiento de la demanda de agua contratada en el sistema.</i>	160.6%	<i>Caudal de ART disponible para reúso (151.9 lps)/ Caudal Contratado de ART (97 lps) lps) x 100, (Periodo de evaluación)</i>	156.6%