

AÑO 2016

**TESIS: EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES RESIDUALES DOMICILIARIOS
POST TRATAMIENTO PROVENIENTES DE PLANTAS MODULARES
MÓVILES.**

Análisis de la Calidad y Reutilización de Efluentes.



Eliana Edith Rauque

Maestría en Intervención
Ambiental



TESIS:

**EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES RESIDUALES DOMICILIARIOS POST
TRATAMIENTO PROVENIENTES DE PLANTAS MODULARES MÓVILES.**

Análisis de la Calidad y Reutilización de Efluentes.

TESISTA: Eliana Edith Rauque, Licenciada en Saneamiento y Protección Ambiental.

DIRECTOR DE TESIS: Prof. Ing. Eliana I. Aqueveque Reydet, Ph.D

Maestría en Intervención Ambiental.

Neuquén, Año 2016

**EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES RESIDUALES DOMICILIARIOS POST
TRATAMIENTO PROVENIENTES DE PLANTAS MODULARES MÓVILES.**

Análisis de la Calidad y Reutilización de Efluentes.

Tesis de postgrado para obtener la Maestría en Intervención Ambiental.

TESISTA: Eliana Edith Rauque, Licenciada en Saneamiento y Protección Ambiental.

DIRECTOR DE TESIS: Prof. Ing. Eliana I. Aqueveque Reydet, Ph.D

JURADOS:

.....

.....

.....

Neuquén, 2016.

AGRADECIMIENTOS

No hubiese sido posible la realización de esta tesis sin el apoyo y ayuda de varias personas e instituciones, y por esta razón es un placer para mi dedicarles este espacio para expresarles mis agradecimientos.

Agradecer la colaboración a la Empresa Soluciones Ambientales S.R.L. por la facilitación de material e informes y permitir mi desarrollo profesional. A su socio gerente Rubén López.

A las instituciones Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén, Subsecretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Neuquén y EPAS (Ente Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Neuquén).

A mi Tutora Eliana Aqueveque Reydet por aceptarme bajo su dirección. Dedicar su tiempo, darme su apoyo y guía, su paciencia y compartir conmigo sus conocimientos que han sido un gran aporte en la realización de la tesis. Muchas gracias Profesora.

A la Universidad Pública que me ha permitido desarrollarme como estudiante y profesional; y dar oportunidades de educación a todas las personas.

A mis compañeras de Maestría Fernanda y Mariela por compartir horas de estudio, charlas y ánimo en este camino que sin ustedes no hubiese sido fácil y tienen mucha parte en este trabajo.

A mis compañeras con las cuales comencé este recorrido universitario y que estuvieron en cada uno de los logros, alegrías y tristezas. Y comprenden lo difícil de este camino, gracias Laura A. y Laura C.

A Mario por bancarme y apoyarme a poder cumplir esta meta. Gracias por estar a mi lado. Y a mi hija Ana por llenarme de amor cada día, todo lo que hago es por vos.

A mis padres por sus ejemplos de perseverancia y constancia que me han transmitido. Por el valor mostrado para salir adelante y por su amor. A mi hermana por su apoyo incondicional.

Gracias Dios por darme oportunidades y por ser nuestra guía día a día.

Gracias por ser parte de que este trabajo llegue a un feliz término.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es demostrar que las aguas domiciliarias tratadas, si cumplen con la legislación pertinente, pueden servir para su reutilización en aplicaciones terrestres. Como en la Provincia del Neuquén no existe legislación para vertido en tierra, sino solamente una guía, el **objetivo de esta tesis** es suministrar los fundamentos que puedan ayudar a tomar decisiones en cuanto a la implementación de una **nueva legislación** que permita la reutilización de este importante recurso. Para ello se ha tomado como estudio de caso la información obtenida de los análisis de las muestras de efluentes residuales domiciliarios provenientes de plantas modulares móviles de tratamiento que se han usado en asentamientos pequeños, especialmente en campamentos ligados a la actividad petrolera establecidos en la Provincia de Neuquén; por un período de años del 2006 al 2012. Se realizó la comparación de los parámetros específicos contemplados en diferentes normativas Regionales, y luego se contrastó esa información con la provista por USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y OMS (Organización Mundial de la Salud). Además, se evaluó la eficiencia de la tecnología de tratamiento de aguas residuales utilizada en plantas modulares. Ello permitió examinar las alternativas de reúso para reducir el impacto en el medio ambiente y la salud pública, bajo el encuadre de las normativas, tanto Provincial, Nacional, como Internacional, correspondientes. Este estudio también aporta conocimiento sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la región debido al aumento de asentamientos urbanos intensivos en zonas petroleras por el desarrollo de los nuevos yacimientos no convencionales en la zona de Añelo y alrededores. De los resultados obtenidos puede concluirse que los tratamientos con estas plantas modulares son adecuados, y proveen un medio para la reutilización de las aguas servidas, cuando han sido tratadas, lo cual debe ser apoyado por la legislación pertinente, que es lo que se ha buscado con esta tesis.

Palabras clave: Efluentes domiciliarios, tratamientos, reutilización, normativas.

ABSTRAC

In this paper we conducted a study of the quality of treated effluents from residential mobile modular treatment plants. Information obtained from the samples of household waste effluents from mobile modular treatment plants that were used in small settlements, especially linked to the oil industry established in the Province of Neuquen camps is analyzed; for a period of years from 2006 to 2012. The overall objective of the study was to evaluate the quality of the final treated effluent house and identify opportunities for reuse of effluent in the area. By regulations issued by Enforcement Authorities of the Province of Neuquen effluent quality for discharge verifying their values with the established permissible levels we were evaluated. Comparison of specific parameters referred to was also carried out in various regional and provincial regulations, then this information was compared with that provided by EPA (Environmental Protection Agency), FAO (Food and Agriculture Organization) and WHO (World Health Organization); to determine the potential for reuse of treated effluent. In addition, the efficiency of the technology of wastewater treatment used in mobile modular plants is evaluated. The performance was optimal mobile modular plants with high levels of pollutant removal efficiency. Therefore, it can be considered that this technology is feasible to operate in small settlements, with a good yield. The treated effluent quality was relatively good compliance with the stipulated limits. Parameters such as total nitrogen and total phosphorus exceeded the permissible limits of the rules. Keep in mind that these limits prescribed in the regulations correspond to tipping into surface water bodies as during the study period there was no sample rules for discharge on the ground. It is proposed to use these mobile modular treatment plants household waste effluents as a viable treatment system, optimal for small towns wastewater, and likely to reuse these treated effluent for irrigation of forest species and native flora in the area with various purposes (windbreaks, fuelwood, erosion prevention). Thus, the impact of the discharge of effluents into the environment and health of the population will be minimized.

Keywords: household effluents; Mobile Modular plants; reuse; Regulations.

INDICE

	Página
<i>Portada</i>	I
<i>Hoja de aprobación</i>	II
<i>Agradecimientos</i>	III
<i>Resumen</i>	IV
<i>Abstract</i>	V
<i>Capítulo 1: Introducción</i>	1
<i>1.1. Introducción al tema</i>	1
<i>1.2. Justificación</i>	8
<i>1.3. Objetivos general</i>	10
<i>1.4. Objetivos particulares</i>	10
<i>1.5. Hipótesis</i>	11
<i>Capítulo 2: Descripción de Plantas Móviles y de Tratamiento</i>	12
<i>2.1. Planta Móvil Modular de Tratamiento</i>	12
<i>2.1.1. Pre-tratamiento/Acondicionamiento</i>	13
<i>2.1.2. Cámara de aireación</i>	17
<i>2.1.3. Cámara de sedimentación</i>	18
<i>2.1.4. Cámara de cloración – Tratamiento final</i>	20
<i>2.1.5. Vertido de efluentes</i>	21
<i>2.2. Tratamiento</i>	22
<i>2.2.1. Lodos activados</i>	23
<i>2.2.2. Microbiología de los lodos activados</i>	25
<i>2.2.3. Aireación prolongada</i>	27
<i>Capítulo 3: Metodología de Trabajo y Estudio de Casos</i>	30
<i>3.1. Metodología</i>	30
<i>3.1.1. Recopilación bibliográfica</i>	30
<i>3.1.2. Recopilación y examen de los análisis de parámetros físicos-químicos y bacteriológicos del agua residual tratada.</i>	30

3.1.3. Rendimiento de la planta modular móvil	31
3.1.4. Cumplimiento de la normativa para vertido de aguas residuales tratadas.	33
3.1.5. Salidas en terreno	34
3.1.6. Trabajo de gabinete	35
3.2. Estudio de casos	35
3.2.1. Vertido de efluentes	35
3.2.2. Caudales a tratar	35
3.2.3. Disposición final de sólidos extraídos en filtros	38
3.2.4. Generación y disposición final de lodos generados	38
3.2.5. Producción y características de los lodos	38
3.2.6. Plan de funcionamiento de planta de tratamiento	39
3.2.7. Caracterización de la zona de operación de las plantas de tratamiento	42
3.2.7.1. Clima	42
3.2.7.2. Geología y geomorfología	42
3.2.7.3. Suelos	42
3.2.7.4. Flora	43
3.2.7.5. Fauna	44
3.2.7.6. Impacto y Plan de Gestión Ambiental	44
Capítulo 4: Resultados y Discusión	46
4.1. Resultados Eficiencia de remoción	46
4.2. Discusión de resultados	52
Capítulo 5: Resultados según la Normativa de Vertido	54
5.1. Resultados de análisis de la normativa	54
Capítulo 6: Reutilización y Comparación de Normas Aplicables	69
6.1. Resultados comparación normativa de reutilización	69
6.2. Reutilización de aguas residuales	75
6.3. Problemas relativos a la Salud Pública	78
6.4. Situación en América Latina y Argentina	83
6.4.1. Argentina	85

Capítulo 7: Normativa de Reutilización	89
7.1. Normativa	89
7.2. Normas de calidad vigentes	93
7.3. Normativa en Argentina	105
Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones	115
Bibliografía citada	122
Referencias Bibliograficas	125
Anexo A	138
Anexo B	151
Anexo C	154
Anexo D	157
Anexo E	159

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura N°1.1	Uso del agua en actividades humanas	1
Figura N°2.1	Plantas Modulares de Tratamiento operando en campamentos petroleros	12
Figura N°2.2	Vista de Cámara de Pre-tratamiento	13
Figura N°2.3	Cámara de Pre-tratamiento instalada en suelo	14
Figura N°2.4	Sistemas de rejillas	14
Figura N°2.5	Tapa de inspección	15
Figura N°2.6	Esquema de cámara de Pre-tratamiento de aguas residuales	15
Figura N°2.7	Cámara de Aireación	16
Figura N°2.8	Esquema de cámara de tratamiento biológico (anaeróbico y aeróbico)	16
Figura N°2.9	Soplador doble membrana	17
Figura N°2.10	Cámara de Sedimentación	18
Figura N°2.11	Válvula de evacuación de lodos	19
Figura N°2.12	Esquema cámara de Sedimentación	19
Figura N°2.13	Cámara de Cloración	20
Figura N°2.14	Vista interior de Cámara de Cloración	20
Figura N°2.15	Esquema de Cámara de Cloración	21
Figura N°2.16	Esquema básico de un proceso de lodos activados	24
Figura N°2.17	Aireación prolongada	28
Figura N°4.1	Eficiencia de remoción de DBO ₅	48
Figura N°4.2	Eficiencia de remoción de DQO	49
Figura N°4.3	Eficiencia de remoción de Nitrógeno Total	50
Figura N°4.4	Eficiencia de remoción de Fósforo Total	50
Figura N°4.5	Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales	51
Figura N°4.6	Eficiencia global de las Plantas Modulares	51
Figura N°5.1	Cumplimiento de Normativa – Año 2006-2012.	55
Figura N°5.2	Comportamiento de valor medio de pH – Período 2006 a 2012	57

Figura N°5.3	Comportamiento de valor medio de Temperatura – Período 2006 a 2012	58
Figura N°5.4	Comportamiento de valor medio de DBO ₅ – Período 2006 a 2012	58
Figura N°5.5	Comportamiento de valor medio de DQO – Período 2006 a 2012	59
Figura N°5.6	Comportamiento de valor medio de Nitrógeno Total – Período 2006 a 2012	59
Figura N°5.7	Comportamiento de valor medio de Nitrógeno Amoniacal – Período 2006 a 2012	60
Figura N°5.8	Comportamiento de valor medio de Fósforo Total – Período 2006 a 2012	60
Figura N°5.9	Comportamiento de valor medio de Sólidos Sedimentables en 10 minutos – Período 2006 a 2012	61
Figura N°5.10	Comportamiento de valor medio de Sólidos Sedimentables en 2 horas – Período 2006 a 2012	62
Figura N°5.11	Comportamiento de valor medio de Grasas y Aceites – Período 2006 a 2012	62
Figura N°5.12	Comportamiento de valor medio de Detergentes – Período 2006 a 2012	63
Figura N°5.13	Comportamiento de valor medio de Hidrocarburos Totales – Período 2006 a 2012	64
Figura N°5.14	Comportamiento de valor medio de Coliformes Fecales – Período 2006 a 2012	64
Figura N°5.15	Rendimiento vs. Cumplimiento Normativa – DBO ₅	66
Figura N°5.16	Rendimiento vs. Cumplimiento Normativa - DQO	67
Figura N°5.17	Rendimiento vs. Cumplimiento Normativa - Nitrógeno Total	67
Figura N°5.18	Rendimiento vs. Cumplimiento Normativa – Fósforo Total	68
Figura N°6.1	Esquema de aprovechamiento deliberado de Aguas Residuales (OMS, 1989)	82
Figura N°6.2	Reutilización de aguas municipales (AQUAREC, 2006)	83
Figura N°6.3	Comparación de la producción de agua residual con los recursos hídricos a nivel nacional	87
Figura N°7.1	Opciones para la reducción de agentes patógenos (OMS, 2006).	95

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla N°2.1	Grupos de microorganismos predominantes en una planta de tratamiento	27
Tabla N°2.2	Características de funcionamiento del proceso de lodos activados	29
Tabla N°3.1	Parámetros analizados y métodos	31
Tabla N°3.2	Rendimientos (%) medio de depuración que se alcanzan en función de tratamiento aplicado en las plantas modulares móviles	32
Tabla N°3.3	Concentración de contaminantes en efluente bruto	32
Tabla N°3.4	Límites permisibles para vertido de aguas residuales tratadas – Neuquén.	34
Tabla N°3.5	Flujo ingresado y volumen tratado de efluente	37
Tabla N°3.6	Tabla descriptiva de los factores y de las funciones de los componentes de la planta de tratamiento de efluentes	41
Tabla N°3.7	Fauna Autóctona	44
Tabla N°3.8	Cuadro resumen de Impacto Ambiental y Plan de Gestión	44
Tabla N°4.1	Valores medios de concentración del efluente tratado. Período 2006 - 2012	46
Tabla N°4.2	Eficiencia de remoción. Período 2006 - 2012	46
Tabla N°5.1	Valores medio de concentración - Período 2006-2012	54
Tabla N°5.2	Matriz de cumplimiento de normativa	57
Tabla N°5.3	Datos análisis – Año 2006 a 2012	65
Tabla N°6.1	Parámetros analizados	69
Tabla N°6.2	Requerimiento de calidad para reúso de efluentes tratados en riego	75
Tabla N°6.3	Reutilización de las aguas residuales	77
Tabla N°6.4	Agentes patógenos o sustancias químicas transmitidas por el agua que afectan la salud, presente en las aguas residuales	80
Tabla N°6.5	Principales cultivos empleados para reúso de aguas residuales domésticas	85
Tabla N°6.6	Cálculo de las hectáreas potencialmente regables con la producción anual de aguas residuales (3.8 km ³)	87
Tabla N°7.1	Parámetros de calidad microbiológica y criterios para el riego en el Estado de California (1978)	90

Tabla N°7.2	Parámetros de calidad microbiológica recomendados para la utilización de aguas residuales en agricultura (OMS, 1989)	92
Tabla N°7.3	Normativa de la Agencia de Protección Ambiental (EE.UU.) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola	93
Tabla N°7.4	Medidas de control de protección a la salud	94
Tabla N°7.5	Guías sugeridas para las aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento	96
Tabla N°7.6	Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego	97
Tabla N°7.7	Guías sugeridas para reúso de aguas	98
Tabla N°7.8	Concentraciones recomendadas de elementos en traza para riego	102
Tabla N°7.9	Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público	103
Tabla N°7.10	Normas de la Agencia de Protección Ambiental para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos	103
Tabla N°7.11	Ejemplos de normas microbiológicas vigentes para aguas residuales utilizadas en el riego de cultivos	105
Tabla N°7.12	Anexo I – c) Resolución N°778/96 H.T.A. Normas de calidad de efluentes cloacales con tratamiento primario para reúso agrícola	106
Tabla N°7.13	Anexo I – d) Resolución N°778/96 H.T.A. Normas de calidad de efluentes cloacales con tratamiento secundario para reúso agrícola	107
Tabla N°7.14	Parámetros de calidad de agua para su infiltración sub-superficial	108
Tabla N°7.15	Resolución N°0709/11 – Anexo I	108
Tabla N°7.16	Resolución 885 DPA (Dirección Provincial de Agua) – Anexo V – Límites máximos Admisibles de parámetros de calidad	109
Tabla N°7.17	Resolución 885 DPA (Dirección Provincial de Agua) – B – Descarga de efluentes en colectores e infiltración subsuperficial	110
Tabla N°7.18	Ordenanza N°6301/06 – Ciudad de Puerto Madryn – Provincia de Chubut. Anexo I – Tabla 1: Parámetros de calidad de efluentes cloacales tratados para reúso	111
Tabla N°7.19	Resolución 336/03. Anexo II. Parámetros de la calidad de descargas límites admisibles.	113

NOMENCLATURA

ACRE	Áreas de Cultivo Restringidos Especiales.
AVAD	Año de Vida Ajustado por Discapacidad.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
EPAS	Ente Provincial de Agua y Saneamiento – Provincia de Neuquén.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
USEPA	Agencia Estadounidense de Protección Ambiental.

Capítulo 1: INTRODUCCION

1.1. Introducción al tema

En los últimos años se ha incrementado la población mundial ejerciendo presión sobre el ambiente y generando una gran demanda de recursos para cubrir sus necesidades. Una de estas grandes demandas es el recurso agua, utilizada en diversas actividades humanas.

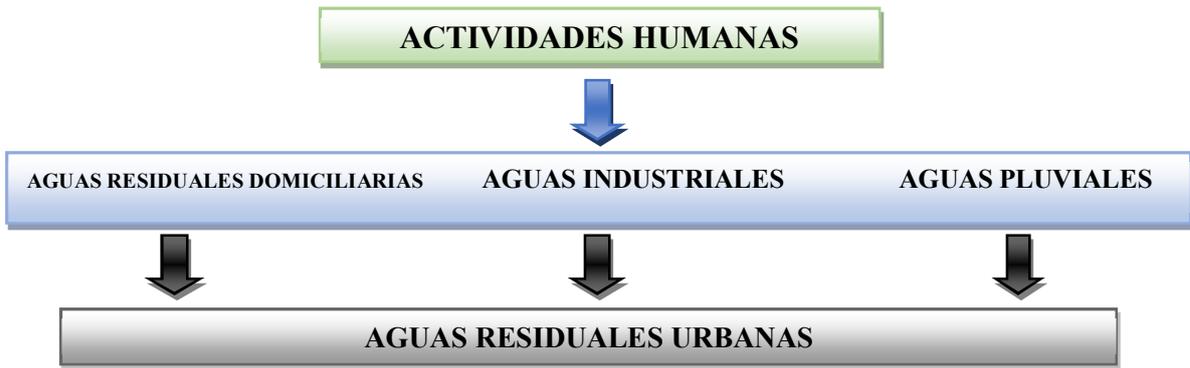


Figura N°1.1: Uso del agua en actividades humanas.

Las aguas residuales domiciliarias e industriales constituyen una fuente de contaminación, afectan las condiciones de calidad de los cuerpos hídricos receptores, generando impactos negativos sobre la salud pública y el ambiente (Bernal, D. *et al.*, 2003).

Las aguas residuales domiciliarias son aquellas aguas residuales procedentes de vivienda y servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas; poseen sustancias contaminantes, las cuales por razones ambientales y de salud pública no pueden desecharse sin un previo tratamiento. Desde el punto de vista de la salud pública tiene relevancia debido a que uno de sus contenidos importantes son las excretas humanas que contienen numerosos microorganismos, denominados patógenos tales como virus, bacterias y parásitos, causantes de enfermedades que pueden llegar a provocar epidemias.

Los efectos negativos importantes del vertido de las aguas residuales sin previo tratamiento son (Huertas, R. *et al.*, 2006):

- **Aparición de fangos y sólidos flotantes**, lo que puede provocar impacto visual, malos olores y degradación de los lechos de los ríos.

- **Disminución del contenido de oxígeno** de las aguas por degradación de la materia orgánica, perjudicando a la flora y la fauna propia de los ecosistemas acuáticos.
- **Aporte excesivo de nutrientes**, principalmente nitrógeno y fósforo, que provocan crecimiento excesivo de algas y otras plantas (eutrofización).
- **Fomento de la propagación de organismos patógenos**. El aumento de la concentración y propagación de microorganismos patógenos para el ser humano en el medio receptor, principalmente virus y bacterias, y provocar enfermedades que pueden propagarse a través de las aguas contaminadas por los vertidos de aguas residuales urbanas, destacando el tifus, el cólera, la disentería, la polio y la hepatitis (A y E).
- **Dificulta la posterior aplicación del agua para otros usos**, comprometiendo el uso racional y sostenible de un recurso limitado.

En muchas ocasiones los vertidos de aguas residuales superan la capacidad de dilución y autodepuración de los cauces y medios receptores, lo que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad de los mismos, e imposibilita la reutilización posterior del agua.

Las aguas residuales domiciliarias han de ser tratadas adecuadamente antes de su vertido o reutilización, con el fin de:

- Proteger el estado ecológico de los medios receptores (embalses, ríos, barrancos, acuíferos, mar, etc.) del grueso de la contaminación orgánica procedente de las aguas residuales.
- Evitar riesgos para la salud pública de la población.
- Producir efluentes con características físicas, químicas y microbiológicas aptas para su reutilización.

La depuración es imprescindible para garantizar la protección del ambiente, la salud de las personas, y el uso racional y sostenible de los recursos hídricos.

El tratamiento de las aguas residuales consiste en retirar los contaminantes que han recibido durante su uso, hasta dejarlas en un estado adecuado para reducir el impacto que generan en el ambiente y en la calidad de vida de las personas. La eliminación de los contaminantes se realiza de forma ordenada y secuencial a través de diferentes etapas, que aplicadas de forma sucesiva proporcionan un grado de tratamiento creciente de las aguas residuales.

En el presente estudio, se desarrollará un análisis de los efluentes generados por las Plantas Modulares Móviles de Tratamiento para demostrar que estos efluentes residuales domiciliarios tienen características que los hacen aptos para su posterior reutilización.

Estas plantas de tratamiento se utilizan en poblaciones pequeñas. En este caso de estudio, las plantas modulares de tratamiento son móviles debido a que están ubicadas en campamentos ligados a la actividad petrolera.

Una vez tratados los efluentes en las plantas son vertidos al suelo, siempre que se cumpla con las normativas correspondientes a vertido emitidas por las **Autoridades de Aplicación**.

El estudio de tesis se orienta a caracterizar y evaluar la calidad de los efluentes tratados con la posibilidad de reutilización, haciendo hincapié que los mismos provienen de estas plantas modulares de tratamiento y de esta manera poder evaluar también la eficiencia del tratamiento con esta tecnología.

Por lo tanto, creemos importante evaluar estos efluentes como posibles recursos para ser utilizados en otras actividades humanas (riego forestal, irrigación de especies no comestibles), y de esta manera proteger los recursos hídricos y el ambiente.

Un aspecto fundamental en las políticas de protección ambiental es que las sustancias circulen y sean reutilizadas para preservar los recursos disponibles. La utilización de efluentes domiciliarios es una forma importante de incorporar un producto residual en el ciclo urbano-rural sin producir riesgos apreciables a largo plazo (Semenas, L. *et al*, 1999).

La utilización de efluentes requiere tratamiento y controles que aseguren la ausencia de riesgos para la salud humana y animal y eviten la contaminación de aguas superficiales y de napas freáticas durante su manipulación, almacenamiento y uso.

Ha sido notable en los últimos años, la evolución de actividades de recuperación de aguas residuales, en diferentes partes del mundo, convirtiéndose en una nueva alternativa, especialmente en zonas áridas y semiáridas. Actualmente 20 millones de hectáreas en cincuenta países, se riegan con aguas residuales domésticas; además, existen más de 2.000 plantas de tratamiento de aguas para su reutilización, sin embargo, todavía sólo un 5% del total de las aguas residuales son tratadas, lo cual representa un 0,18% de la demanda de agua mundial (Sartor, A. y Cifuentes, O., 2012).

Los beneficios directos que proporciona la reutilización de aguas residuales son (Suematsu, L, 1995):

- La captación de nutrientes presentes en el efluente cloacal para destinarlo como fertilizante en suelos para la producción agropecuaria.
- Evitar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales debido al vertido directo de las aguas residuales en ríos, lagos o mares.
- Conservar o emplear de manera más racional los recursos de agua dulce, sobre todo en zonas áridas y semiáridas.
- Luchar contra la desertificación y recuperar zonas áridas mediante el riego y la fertilización de bosques.
- Mejorar las zonas recreativas de las ciudades, mediante el riego y la fertilización de espacios verdes (parques, campos deportivos).

Las desventajas aparecen cuando estos sistemas no son aplicados en forma apropiada y se generan riesgos para la salud pública.

Los efluentes depurados, si han alcanzado el grado de tratamiento requerido en cada caso, pueden ser vertidos a los medios receptores, aunque, cada vez más, existen otros destinos alternativos para su reutilización, según EPA, 1992:

Reutilización urbana:

- Riego de parques públicos, campos deportivos, jardines, áreas verdes de edificios públicos, industrias, centros comerciales y carreteras.
- Riego de áreas de jardín de las residencias unifamiliares y multifamiliares.
- Usos ornamentales: fuentes y estanques.
- Limpieza de calles.
- Protección contra incendios.
- Agua de cisternas para urinarios públicos y en edificios comerciales e industriales.

Reutilización industrial:

- Refrigeración.
- Procesos industriales.
- Construcción.

Riego agrícola.

Recarga de acuíferos para control de la intrusión marina.

Restauración de hábitats naturales y mejora del entorno.

Usos municipales y recreativos (riego de parques y jardines públicos, riego de calles, embalsamiento para control de incendios municipales y forestales, creación de lagos artificiales).

Transporte y lavado (materias primas: carbón, azucareras, productos acabados y semi-acabados: pastas en papeleras, productos de laminado, pieles en curtidurías, tejidos en tintorerías, lavados de mantenimiento: vagones, suelos, calles de polígonos industriales, fachadas, etc.).

Producción de biomasa animal y vegetal (riego de especies agrícolas o forestales, producción de microalgas, piscicultura, etc.).

Aumento de los recursos potables.

Entre los antecedentes más relevantes se encuentran las experiencias de China con una capacidad de reutilización de más de 20,2 millones de metros cúbicos por día (Sartor, A. y Cifuentes, O., 2012).

En Latinoamérica existe un gran atraso en el desarrollo de instalaciones de tratamiento de los efluentes urbanos. Sólo el 13,7 % de las aguas residuales recolectadas son tratadas antes de descargarse en los ambientes acuáticos o usarse en riego agrícola (WSP, 2006).

El tratamiento y reciclaje de aguas residuales domésticas constituyen un reto y a la vez una oportunidad en América Latina. Un reto porque alrededor del 80% de las aguas residuales son dispuestas sin tratamiento en el ambiente o usadas para fines agrícolas, lo que constituye un problema sanitario de envergadura en muchas localidades. Y una oportunidad porque estas aguas representan un recurso valioso desde el punto de vista económico y ecológico.

El 75 % del territorio argentino tiene condiciones de vulnerabilidad ya que corresponde a zonas áridas y semiáridas, en particular en la Patagonia entre el 30 y 35% presenta indicios de desertificación grave a muy grave. En estas regiones, es necesario contar con políticas que incentiven un mayor aprovechamiento del agua y la preservación de estos ambientes que presentan un alto grado de fragilidad. Además, permitirían contar con la posibilidad de tecnologías que permitan la reutilización del agua tratada, especialmente derivada de los asentamientos urbanos (Sartor, A. y Cifuentes, O., 2012).

En Argentina, Mendoza es la provincia con antecedentes más importantes en la reutilización de aguas residuales, que cuenta con más de 9.408 hectáreas regadas en Áreas de Cultivo Restringidos Especiales (ACRE), a partir de una recuperación de aguas de casi el 90%

del sistema cloacal, para una población de 800.000 habitantes. La provincia ha desarrollado un complejo normativo amplio que determina calidad de efluentes y categorías de reutilización de los efluentes cloacales (Res. 715/00) en las ACRE (Sartor, A. y Cifuentes, O., 2012).

Los impactos de la aplicación de aguas residuales cloacales en el suelo, si no son tratadas, son simultáneamente positivos (por la eficiencia en el uso del recurso) y negativos (desde el punto de vista de la calidad del agua subterránea). Es importante disponer de un agua con una calidad adecuada y que se encuentre en cantidad suficiente para poder soportar las actividades derivadas del desarrollo, lo que permitirá una mejora en el ambiente, la salud y la calidad de vida.

Uno de los aspectos más cuestionados en las actividades de reutilización de aguas residuales cloacales es la presencia de patógenos que ponen en riesgo la salud. Esta característica requiere establecer criterios sanitarios y ambientales definidos por medio de estándares que fijen los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para diferentes usos finales.

La tendencia en este sentido es avanzar hacia la fijación de estándares de calidad en función del uso final, como lo muestran las guías generadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o las *Guidelines for Water Reuse* USEPA, 2004 (Sartor, A. y Cifuentes, O., 2012). En general puede decirse que hay dos tendencias principales: a) la de exigir un mínimo de microorganismos indicadores de patógenos, aunque implique altos costos, como es el caso de las normas de USEPA y b) la de fijar un riesgo aceptable, en lugar de exigir riesgo cero y complementar con buenas prácticas, como es el caso de las recomendaciones de OMS (Fasciolo, G.E. *et al*, 2005).

La normativa (regional, nacional e internacional) correspondiente a la operación de las plantas de tratamiento modulares móviles y a la reutilización de aguas residuales cloacales se cita a continuación.

A nivel regional, la Provincia del Neuquén, cuenta con Disposiciones referentes a los operadores de plantas móviles de tratamiento como:

- **Disposición N° 266/06** “Operadores de plantas móviles de tratamiento de líquidos cloacales” de la Dirección Provincial de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- **Resolución N° 0709/2011** “Aprobación y habilitación de proveedores y operadores de Sistemas Compactos Modulares” emitida por el EPAS (Ente Provincial de Agua y Saneamiento), en el Anexo I se muestra una tabla de parámetros y sus límites máximos

permisibles para el vertido de efluentes. Además, se cuenta con normativa para regular el vertido de efluentes tratados.

- **Disposición N° 0090/08** de la Dirección Provincial de Recursos Hídricos otorga la Factibilidad de vertido cuando se cumplen con los parámetros presentes en esta disposición.

Se cuenta en la Provincia del Neuquén con dos instrumentos legales importantes:

- **Ley Provincial de Ambiente N° 1875** que regula sobre la protección del ambiente;
- **Ley N°899 “Código de Aguas”** que regula el uso de los recursos hídricos. En el Anexo II Decreto 790/99 de la **Ley N°899**, se encuentra la tabla con los límites permisibles en el vertido a cursos de agua, para efluentes tratados.

Como mención, debemos resaltar que la Dirección Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén posee las **Guías de Calidad de Agua Superficial para Irrigación**, las cuales no fueron utilizadas como normativa durante el tiempo de muestro de las plantas de tratamiento móviles ya que no se encontraba en vigencia en ese momento (2006 -2012).

A nivel Nacional, se dispone de la **Ley N° 24.051 “Residuos Peligrosos”** sobre la regulación de residuos peligrosos y su **Decreto 831/93, Anexo II Tabla 5 “Niveles guía de calidad de agua para irrigación”**.

Por otra parte, la provincia de Mendoza es pionera en el tema de reutilización de efluentes cloacales, y cuenta con la **Resolución N°778/96 H.T.A., Anexo I-c) “Normas De Calidad De Efluentes Cloacales Con Tratamiento Primario Para Reúso Agrícola”**; **Anexo I-d) “Normas De Calidad De Efluentes Cloacales Con Tratamiento Secundario Para Reúso Agrícola”**; y **Anexo I-d) “Categorías de Reúso”**.

En la Provincia de Río Negro, se cuenta con la **Resolución 885/2015** y **Resolución 886/2015** y Anexos; en las cuales se determinan las exigencias para cada industria/actividad en cuanto al vertido de efluentes y los parámetros a evaluar.

En la Provincia de Buenos Aires, con la **Resolución 336/03** se controla los parámetros de vertido de efluentes para cada actividad.

Entre las normativas internacionales más importantes, se cuenta con las Directrices de la **OMS (Organización Mundial de la Salud) “Directrices de la OMS (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura”**, **“Recomendaciones de la OMS para reutilización de aguas residuales en riego agrícola”**,

“Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes y con acceso público”, “Medidas de control de protección a la salud”. Guías sugeridas de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) “Guías sugeridas para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento”, “Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego”. La normativa de la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.) “Calidad de agua tratada y su uso/reutilización (1992)”, “Normativa de la Agencia de protección ambiental (EE. UU) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola”, “Normas de la Agencia de protección ambiental (EE. UU) para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos”.

El Tratamiento y reutilización de las aguas residuales emerge como una importante alternativa. Cada lugar donde exista la posibilidad de tener descargas de efluentes, puede convertirse en una oportunidad de recuperación de los mismos, con un destino que no sea el vuelco final a cuerpos receptores. Sin embargo, la particularidad de cada lugar (ambiental, social, institucional y productivo) demanda un abordaje integrado de soluciones que contemple en cada caso dichas especificidades.

1.2. Justificación

El estudio aporta conocimiento sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales en la zona. Asimismo, se verá la viabilidad de la tecnología de tratamiento que puede ser aplicada en pequeños asentamientos y que minimizan el impacto al ambiente y en la salud pública de los pobladores.

El incremento de la población en la región debido a la expansión de la actividad petrolera, genera la aparición de asentamientos espontáneos. En los últimos años este fenómeno se debe al desarrollo del *shale gas* y *shale oil* en la zona de Añelo y alrededores.

Las ciudades forman parte del ambiente construido y creado por el hombre, y como tal, interactúan con el ambiente natural. La población utiliza como recursos los materiales y el ambiente para su subsistencia. Y se generan grandes cantidades de residuos que deben ser tratados para minimizar el impacto en el ambiente y la salud pública.

En estas áreas donde se encuentran ubicados los pequeños asentamientos relacionados a la actividad petrolera, se eliminan aguas residuales producto de las actividades del hombre. Estas aguas residuales son denominadas **aguas residuales domiciliarias** ya que provienen de

baños y cocinas. Las mismas son vertidas al ambiente con su consecuente impacto. Por lo tanto, surge la necesidad del tratamiento de estas aguas residuales para minimizar el impacto.

El tratamiento de estas aguas residuales domiciliarias consiste en un tratamiento secundario (biológico), que se realiza con plantas modulares móviles, en donde se llevan a cabo los procesos de depuración.

Una vez terminado el proceso de tratamiento se realiza el vertido de efluente final tratado al ambiente, principalmente sobre el suelo. En esta instancia, se debe asegurar que este vertido cumpla con la normativa vigente emitida por las Autoridades de Aplicación.

A partir de haber realizado trabajos en plantas de este tipo y haber examinado la problemática, se vio la posibilidad de obtener soluciones que sean para un mejor funcionamiento de los equipos y la reutilización de los efluentes.

El agotamiento del recurso hídrico debido a la sobre demanda del mismo, hace que, en las regiones áridas y semiáridas como la región Patagónica, cualquier fuente de agua adquiere relevancia para la supervivencia y el desarrollo económico. Además, considerando el avance de la erosión de suelos (desertificación) y los problemas de escasez, las aguas residuales generadas por los centros de población se convierten en un importante recurso.

Es por esto que en aquellos lugares donde el recurso hídrico es escaso o en donde se carece de fertilizantes para abonar la tierra de cultivo, se ha recurrido a la reutilización de las aguas residuales procedentes de los asentamientos urbanos.

Por lo tanto, en este estudio se propone evaluar la calidad de los efluentes residuales domiciliarios luego de ser tratados mediante las plantas de tratamiento móviles y su posibilidad de reutilización de los mismos.

El trabajo apunta a examinar la información obtenida de los análisis de las muestras de los efluentes de aguas residuales domiciliarias provenientes de plantas modulares móviles de tratamiento que se han usado en asentamientos pequeños (campamentos petroleros), establecidos en la Provincia de Neuquén, entre los años 2006 - 2012.

Mediante la evaluación de la calidad de los efluentes tratados se pudo examinar las alternativas de reutilización para reducir el impacto en el ambiente y la salud pública. Todo este análisis se realizó bajo el encuadre de la normativa provincial, nacional e internacional correspondiente.

Como se dijo previamente, las plantas modulares móviles de tratamiento de efluentes residuales domiciliarios constituyen un sistema de tratamiento óptimo y con posibilidades de reutilización de estos efluentes tratados. Este sistema de tratamiento es viable para su utilización en pequeños asentamientos urbanos y campamentos relacionados a la actividad petrolera.

Se caracterizó y evaluó la calidad de los efluentes tratados en las plantas de tratamiento para luego compararlos con la normativa de aplicación correspondiente. Además, se evaluó el rendimiento de las plantas móviles modulares de tratamiento.

1.3. Objetivo general

Evaluar la calidad del efluente final tratado y determinar las posibilidades de reutilización del efluente en la zona, generado luego del tratamiento biológico realizado por las plantas modulares móviles de tratamiento de aguas residuales domiciliarias.

1.4. Objetivos particulares

A través de todo este estudio se persiguieron los siguientes objetivos particulares, con el objeto de obtener los fundamentos que permitan reafirmar la tesis que se ha perseguido a lo largo de todo este trabajo.

- Comparar los parámetros específicos para reutilización, contemplados en diferentes normativas dentro del país, y contrastar esa información con la provista por la USEPA, FAO y OMS.
- Evaluar la eficiencia de la tecnología de tratamiento de aguas residuales en plantas modulares del tipo aquí descripto.
- Determinar los impactos ambientales generados por el vertido final de efluentes tratados en suelo.
- Identificar experiencias de reutilización de efluentes de aguas residuales para riego (ej: Mendoza).
- Suministrar los fundamentos que puedan ayudar a tomar decisiones en cuanto a la implementación de una nueva legislación en la provincia del Neuquén ya que en este momento solo existe una guía: ***Guías de Calidad de Agua Superficial para Irrigación*** (Dirección Provincial de Recursos Hídricos – Neuquén) la cual no está reglamentada, por

haber discusión en cuanto a las cantidades de fósforo y nitrógenos permisibles en cuerpos de agua, y que, además no es específica para calidad de aguas que hayan sufrido tratamiento o adecuación.

1.5. Hipótesis:

La reutilización de aguas residuales domiciliarias tratadas mediante las plantas modulares móviles es permisible en usos agropecuarios, como el riego de especies forestales propias de la zona y vegetación autóctona; una vez cumplidos los tratamientos y adecuación correspondiente y cumpliendo los parámetros de vertido en agua.

Tomando como base todas las diferentes partes de esta problemática del agua, y teniendo en cuenta todos los antecedentes señalados; en cuanto a la falta del recurso hídrico en algunos lugares, la necesidad de tratamiento de aguas servidas a los efectos de preservar el ambiente y la salud pública, las normativas existentes y las posibilidades de tratamiento y de reutilización; es posible elaborar la siguiente tesis.

Capítulo 2: DESCRIPCIÓN DE PLANTAS MÓVILES Y DE TRATAMIENTOS

2.1. Planta modular móvil de tratamiento

La planta modular móvil es una tecnología de manejo de aguas residuales utilizada para lograr un efluente que cumpla con las exigencias de la normativa de vertidos tanto en aguas superficiales como para la irrigación en suelos.

Esta tecnología es ampliamente usada en pequeñas poblaciones, y con una alta eficiencia del sistema de depuración.

Los objetivos de una planta modular móvil de tratamiento son (Santos, J.A.; 2014):

- Eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, etc.
- Eliminación de materias decantables orgánicas o inorgánicas.
- Eliminación de la materia orgánica.
- Eliminación de compuestos amoniacales y que contengan fósforo (en aquellas que se viertan a zonas sensibles).
- Transformar los residuos retenidos en fangos estables y que éstos sean correctamente dispuestos.



Figura N°2.1: Plantas Modulares de Tratamiento operando en campamentos petroleros

El tratamiento de las aguas residuales consiste en la remoción de la materia orgánica y posterior desinfección del efluente. La planta modular móvil de depuración de aguas residuales

(Figura N°2.1) consiste en una unidad dividida en diferentes compartimentos. Ver Plano en **Anexo A**.

El proceso se basa en el principio de lodos activados y aireación extendida. En las unidades de tratamientos se utilizarán flotantes que accionan las bombas y controladores de tiempo que regulan los horarios y tiempos de marcha. También tienen válvulas que permiten la evacuación de lodos para su posterior disposición final.

Este sistema de tratamiento comprende diferentes etapas, que se detallan a continuación.

2.1.1. Pre-tratamiento/Acondicionamiento

El pre-tratamiento se realiza en una cámara receptora de la red cloacal como la de la **Figura N°2.2**, que tiene una capacidad de 500 litros. Esta cámara se coloca y se instala de acuerdo a procedimientos de montaje/desmontaje de plantas establecidos para minimizar el impacto en el ambiente, y de manera de no obstruir el paso de operarios, vehículos y maquinarias, ver **Figura N°2.3**.



Figura N°2.2: Vista de Cámara de Pre-tratamiento/Acondicionamiento



Figura N°2.3: Cámara de Pre-tratamiento instalada en suelo

Su función es eliminar constituyentes de las aguas residuales que puedan provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los demás procesos. Se dispone de un sistema de rejas como se observa en la **Figura N°2.4**, que retiene materiales sólidos de gran tamaño como trapos, látex, papel, restos de alimentos, palos; los cuales pueden dañar los equipos y el funcionamiento de la unidad.

Los restos de sólidos, que logran pasar los filtros, son desmenuzados por una bomba trituradora con el objeto de reducir el tamaño de los mismos.



Figura N°2.4: Sistemas de rejas.

Una vez acondicionada las aguas residuales son conducidas, por acción de la bomba, a la siguiente cámara para que se produzca la digestión biológica.

Esta unidad tiene una tapa, la cual sirve para realizar la inspección de la cámara, ver **Figura N°2.5**.



Figura N°2.5: Tapa de Inspección.

En la **Figura N°2.6** se observan los diferentes componentes de la cámara de pre-tratamiento.

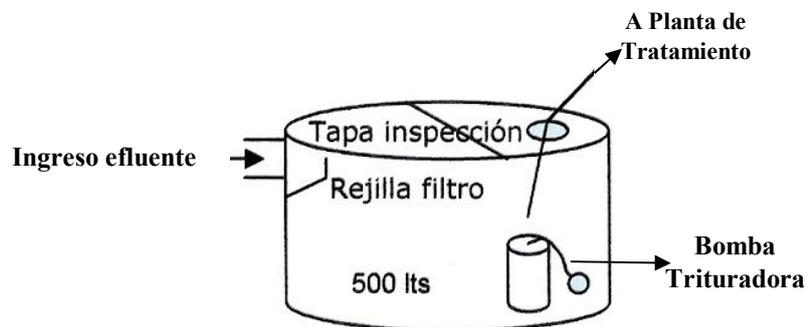


Figura N°2.6: Esquema de Cámara de Pre-tratamiento de aguas residuales.

En la siguiente cámara como se observa en la **Figura N°2.7**, se producen transformaciones biológicas de la materia orgánica donde se la convierte en un producto final estable. Estas transformaciones son aeróbicas y anaeróbicas.

La cámara posee dos compartimentos a saber: una cámara séptica (anaeróbica) y un tanque de aireación. Ver **Figura N°2.8**.



Figura N°2.7: Cámara de Aireación.

El agua residual acondicionada ingresa al primer compartimiento de la unidad que simula una cámara séptica, en donde se produce la digestión anaeróbica de la materia orgánica. La capacidad de esta cámara es de 900 litros.

La materia orgánica más pesada se va depositando en el fondo del primer compartimiento.

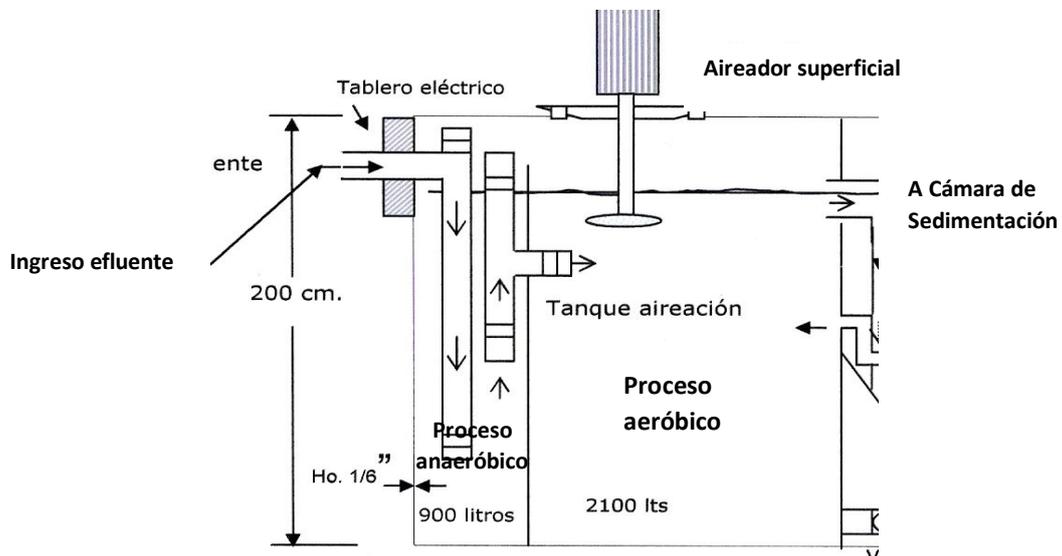


Figura N°2.8: Esquema de Cámara de tratamiento biológico (anaeróbico y aeróbico).

Esto proporciona un ambiente anaeróbico, en consecuencia, la descomposición de la materia orgánica la realizan los microorganismos anaeróbicos. Se forman flóculos o gránulos anaeróbicos que son básicamente bacterias, que van cayendo al fondo, formando lo que se conoce como manto de lodos. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos anaerobios

estrictos y facultativos. Estos microorganismos realizan la digestión en ausencia de oxígeno, logrando una disminución de la materia orgánica (Gutierrez, S. y Rodriguez Velo, J., 2002).

La digestión es un proceso biológico que convierte la materia orgánica en metano, dióxido de carbono y lodos.

Primeramente, la materia sólida se hace soluble por la acción de las enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos. Luego los ácidos orgánicos son convertidos por bacterias en metano y dióxido de carbono. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

Parte de la materia orgánica sedimenta por acción de la gravedad, hacia el fondo de la cámara. El líquido resultante ingresa a la cámara de aireación.

2.1.2. Cámara de aireación

Luego de la digestión anaeróbica, el líquido ingresa a la cámara de aireación donde se lleva a cabo el proceso de digestión aeróbica.

La función principal de esta cámara es recoger y tratar las aguas residuales, y su capacidad es de 2100 litros. En esta unidad se produce la incorporación de oxígeno mediante sopladores *Repicky* de doble membrana que se observa en la **Figura N°2.9**, para una mejor eficiencia del sistema en la aireación y / o mezcla. En Anexo B se muestra la ficha técnica.



Figura N°2.9: Soplador doble membrana.

La incorporación de oxígeno a las aguas residuales promueve el crecimiento de bacterias, las cuales digieren la materia orgánica presente, generando principalmente dióxido

de carbono, agua y otros componentes. Aquella materia orgánica no digerida pasará a formar parte de los lodos o fangos que se depositan en el fondo de la cámara. Esta unidad presenta a nivel del líquido en pileta una ventana que permite el pasaje de líquido a la cámara de sedimentación. Luego, el líquido resultante ingresa a la unidad de sedimentación.

2.1.3. Cámara de Sedimentación

En esta cámara, llamada también zona de clarificación, se produce la sedimentación. El volumen de la misma es de 2.500 litros. Ver **Figura N°2.10**.

Esta cámara de sedimentación está diseñada para remover los lodos y la materia orgánica sedimentada. Esta unidad permite que los materiales sólidos se depositen en el fondo de la cámara. La zona más baja de la cámara está diseñada en forma de cono, donde las paredes están inclinadas hacia el centro del tanque para formar un área pequeña donde se acumula el lodo. El esquema de esta cámara se muestra en la **Figura N°2.12**.



Figura N°2.10: Cámara de Sedimentación.

En los periodos de bajos ingresos de aguas residuales, y programados con los controladores de tiempo de una bomba de profundidad ubicada en la unidad de sedimentación, retornan parte de los fangos estancados a la cámara de aireación que funcionará en forma simultánea mejorando notablemente este proceso.

Esta unidad consta de una bomba de retorno de profundidad y de una válvula para evacuar lodos como se observa en la **Figura N°2.11**.

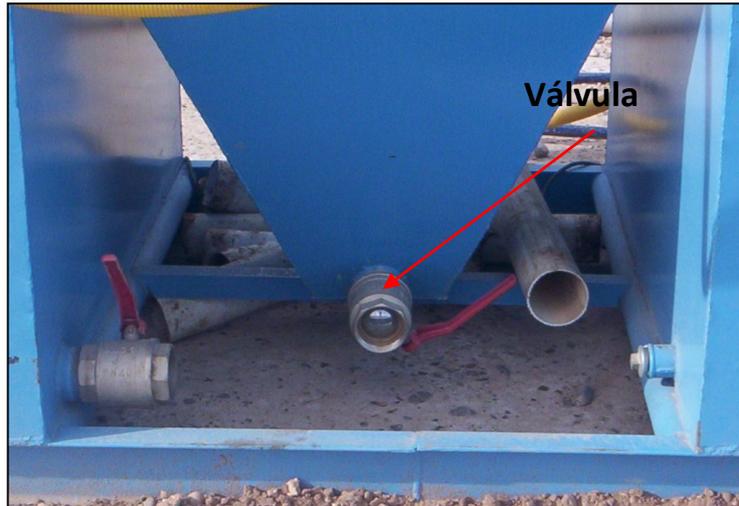


Figura N°2.11: Válvula de evacuación de lodos.

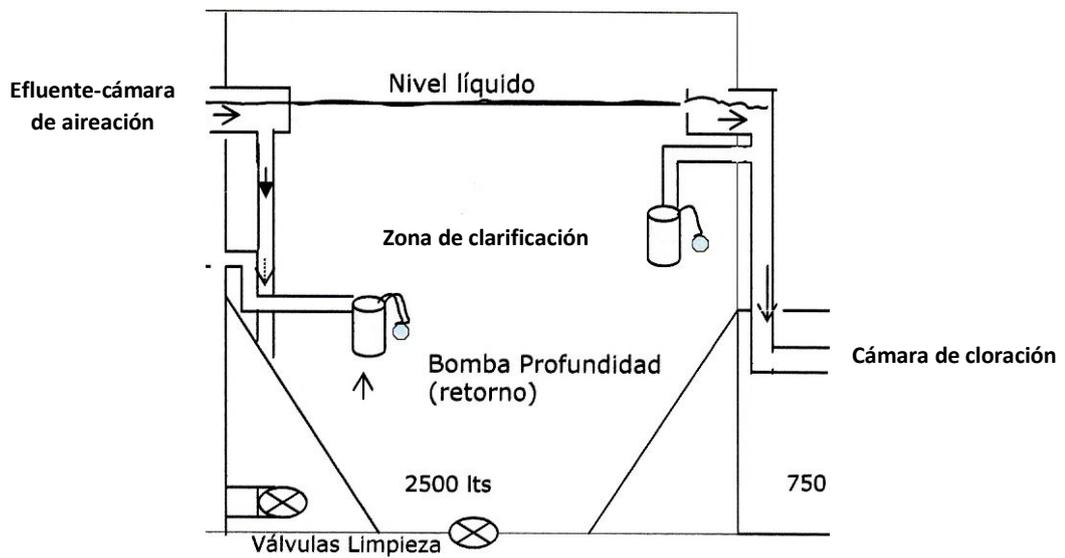


Figura N°2.12: Esquema Cámara de Sedimentación.

Luego, a este líquido se le aplica un tratamiento final para obtener un efluente final óptimo.

2.1.4. Cámara de Cloración - Tratamiento final



Figura N°2.13: Cámara de Cloración.

Luego de la cámara de sedimentación se construye una unidad de cloración de contacto como se observa en la **Figura N°2.13**, que contiene un clorinador (ver **Figura N°2.14**) que funciona con pastillas de cloro. La capacidad de esta cámara es de 750 litros. La cámara tiene una bomba de profundidad de 1 HP y capacidad de 3000 lts/h. y para su inspección posee dos tapas de 40 cm x 50 cm. En el tratamiento final se pretende que el efluente cumpla con la normativa antes de ser vertido al ambiente.



Figura N°2.14: Vista interior de Cámara de Cloración.

El método de cloración es el más utilizado y es una tecnología bien conocida, siendo el método más efectivo de desinfección. La desinfección del agua por cloración se puede aplicar a grandes cantidades de líquido y es relativamente barato.

La desinfección se realiza mediante la colocación de pastillas de cloro en una boya en la cámara de cloración de la planta móvil de tratamiento. Se debe colocar en la boya dosificadora una pastilla de 50 g.

El desinfectante utilizado es una pastilla de baja peligrosidad, la cual contiene un 90% de cloro. El producto químico desinfectante está basado en cloro orgánico de lenta disolución, siendo efectivo para el control de algas, bacterias y hongos. Su uso está recomendado para mantener un nivel estable de cloro en la fosa, aprovechando la lenta solubilidad que tiene el producto. Forma de suministro: 2 pastillas en consumo constante.

Se controla semanalmente la existencia de la pastilla en la boya ubicada en la cámara de cloración, de ser necesario se efectúa la reposición.

En la **Figura N°2.15** se observa el esquema de la cámara de cloración.

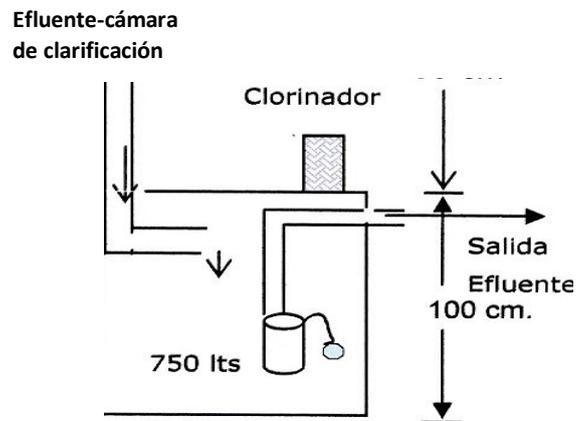


Figura N°2.15: Esquema de Cámara de Cloración.

El cloro residual puede permanecer durante el tratamiento de aguas residuales por varias horas. Para minimizar los efectos en el ambiente se recomienda la de-cloración de las aguas cloradas. Este proceso consiste en la remoción del cloro residual antes de la descarga. A la salida de esta cámara se coloca un de-clorador que contiene pastillas con una concentración de un mínimo de 75% de sulfito de sodio que remueve el cloro en proporción al flujo tratado.

2.1.5. Vertido de efluentes

Los efluentes resultantes del tratamiento deben cumplir con las normativas de vertidos vigentes emitidas por la Autoridad de Aplicación, para poder ser vertidos.

Cuando los efluentes cumplen con esta normativa, la disposición se realiza por infiltración en suelo. El suelo debe tener ciertas características que permitan el vertido y de esta forma evitar el contacto de personas y animales con estos líquidos y reducir impactos ambientales.

Al final de la cámara de cloración se encuentra la manguera con la cual se hace el vertido del efluente sobre suelo. La misma se coloca de acuerdo a las especificaciones establecidas en los procedimientos de la Empresa, de manera que no produzca encharcamiento, y no debe colocarse en cercanías a cuevas de animales.

En el proceso de tratamiento de las aguas residuales se generan Lodos, que incluye la biomasa producida durante el proceso biológico y la materia particulada. Tienen un contenido sólido que varía entre el 0,25% y 12% de su peso (Tortorelli, M., 2011) .

Estos lodos son de gran importancia debido a su volumen y al tratamiento posterior que requieren.

2.2. Tratamiento

El funcionamiento de las plantas modulares móviles de tratamiento se basa en un proceso es biológico, de lodos activados y aireación extendida.

Los principales objetivos del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas son (Tortorelli, M., 2011):

- Transformar (oxidar) los constituyentes biodegradables disueltos y particulados en productos finales aceptables, favoreciendo la reducción de la DBO₅ del efluente final.
- Capturar e incorporar sólidos coloidales suspendidos y no sedimentables, en biofilms o flóculos biológicos (lodos).
- Transformar y remover nutrientes (Nitrógeno – Fósforo).
- Remover constituyentes orgánicos y compuestos traza, específicos.
- Remover o reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Como el objetivo principal de los procesos biológicos es la reducción de la materia orgánica del agua residual, son de gran importancia los organismos quimioheterótrofos, pues además de energía y carbono, necesitan compuestos orgánicos. Las aguas residuales

domésticas suelen tener cantidades de nutrientes (orgánicos e inorgánicos) adecuadas para permitir el tratamiento biológico para la eliminación de la DBO₅.

Atendiendo al medio donde se desarrollan los microorganismos, los sistemas de tratamiento biológico se pueden clasificar en dos grupos:

- a) Biomasa suspendida, o soporte líquido.
- b) Biomasa fija o soporte sólido

El sistema de tratamiento biológico de biomasa suspendida es lo que se conoce normalmente como tratamiento por “**FANGOS O LODOS ACTIVADOS**”, que es uno de los procesos de tratamiento biológico más usados (SANZ, F. M., 2000).

2.2.1. Lodos activados

Los “**LODOS O FANGOS ACTIVADOS**” consisten en una acumulación de microorganismos que se mantienen en suspensión en una masa de agua a tratar “**LICOR MEZCLA**” (reactor biológico) y se mueven libremente bajo la forma de pequeñas aglomeraciones de 1 a 5 mm de diámetro, llamados flóculos, y a los que se tiene que ir aportando oxígeno para que vivan y se desarrollen.

El proceso de lodos activados fue desarrollado en 1914 en Inglaterra por Arden y Lockett, y hoy en día esta tecnología en sus distintas modalidades (Convencional, contacto-estabilización, aireación prolongada, etc.), es la más ampliamente aplicada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

El proceso de lodos activados requiere un sistema de aireación y de agitación que suministre el oxígeno requerido por las bacterias encargadas de la depuración, evite la sedimentación de los flóculos en el reactor y permita la homogeneización de los fangos activados. Para la aportación de oxígeno y mantener en suspensión los microorganismos, se utilizan diversos elementos mecánicos: turbinas (superficiales y sumergidas), soplantes, depósitos de oxígeno líquido, y gasificación del mismo.

Luego, y una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada, el líquido de mezcla se envía a un tanque de sedimentación (decantador secundario) donde se separa el fango biológico del agua. Una parte de la biomasa decantada se recircula al reactor para mantener una concentración de microorganismos adecuada, mientras que el resto del fango se extrae del sistema para evitar una acumulación excesiva de biomasa y controlar el tiempo

medio de estancia celular. De esta manera, por efecto de la recirculación aumenta la concentración de la biomasa en la cámara de aireación, y el tiempo de residencia de los mismos. Mediante ensayos, se ha comprobado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular mejoran las características de sedimentación del floculo biológico. Para aguas residuales domésticas, los tiempos medios de retención celular para obtener una buena sedimentación oscilan entre 3 y 4 días.

En la **Figura N°2.16** se observa el esquema de Lodos Activados, estos están constituidos por la biomasa formada y la materia particulada, aportada por el agua residual.

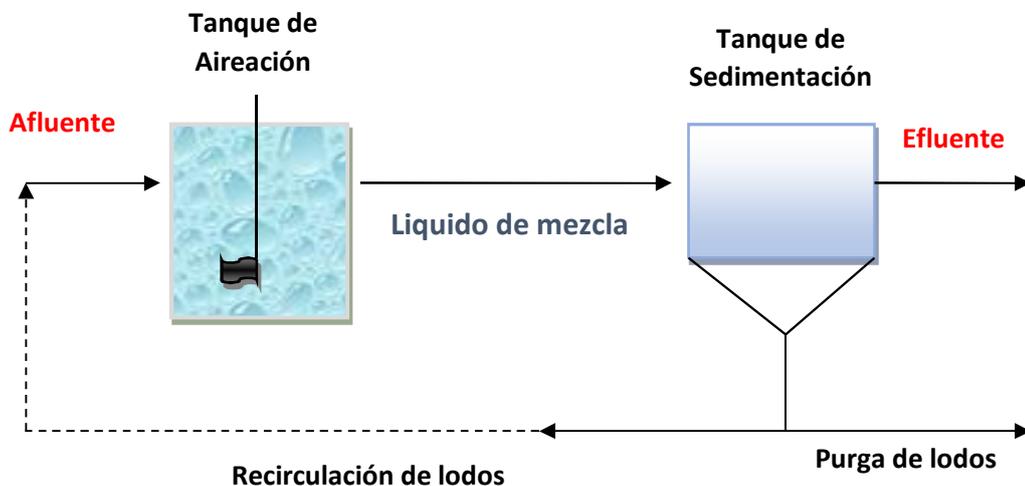


Figura N°2.16: Esquema básico de un proceso de lodos activados.

La eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual que ha entrado en contacto con los fangos activados, se produce a través de las siguientes etapas:

1. Atrapamiento de las partículas en la estructura del floculo de los fangos activados.
2. Adsorción del material coloidal.
3. Biosorción, es decir, eliminación rápida e inicial por absorción y almacenamiento celular de compuestos orgánicos solubles de elevado peso molecular.
4. Asimilación y acumulación intracelular de sustancias fácilmente biodegradables.
5. Autodigestión (respiración endógena) de la biomasa cuando existan limitaciones de sustrato biodegradable.

Las bacterias heterótrofas utilizan la materia orgánica presente en el agua residual como fuente de carbono para la síntesis celular. Las reacciones de oxidación y de síntesis celular se pueden expresar de forma genérica así:



Donde **MO** indica la materia orgánica y **C₅H₇NO₂** representa la nueva materia celular formada. Como se observa, este proceso implica la producción de nitrógeno amoniacal, lo que contribuye a aumentar la concentración de esta sustancia en el agua residual.

Por otro lado, las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto para la oxidación bioquímica de su contenido de materia orgánica a dióxido de carbono, generando energía. La reacción correspondiente es la siguiente:



donde se observa una producción de nitrógeno amoniacal y un consumo de oxígeno disuelto en el líquido de mezcla (Metcalf & Eddy, inc., 1996).

Los microorganismos de un fango activado se agrupan formando un flóculo, que está formado por dos componentes básicos: el biológico y el no biológico. El componente biológico es el más importante y está integrado principalmente por bacterias, protozoos y metazoos. El componente no biológico lo constituyen partículas orgánicas o inorgánicas presentes en el agua residual, así como los polímeros extracelulares (mayoritariamente carbohidratos) generados por los microorganismos (Santos, J.A.; 2014).

2.2.2. Microbiología de los lodos activados

Si bien las bacterias son las encargadas de la descomposición del residuo, existen otros microorganismos importantes. Estos microorganismos interactúan para transformar la materia orgánica en biomasa nueva, dióxido de carbono y agua. Colectivamente, a estos microorganismos se les denomina biomasa.

La biomasa es la "fuerza de trabajo" de un sistema de tratamiento de aguas. En un estado dinámico de flujo, diferentes microorganismos mueren mientras que otros se desarrollan y se convierten en dominantes. Bajo condiciones adversas como un choque tóxico, ciertas poblaciones de bacterias pueden verse reducidas o eliminadas causando una calidad de efluente pobre.

En una planta de tratamiento por lodos activados se encuentran básicamente seis grupos de microorganismos: flagelados, amebas, ciliados móviles, ciliados fijos, rotíferos y otros invertebrados.

Los *rotíferos* son característicos de los efluentes turbios. Lo que realmente se quiere que haya en el lodo es predominancia de ciliado y unos pocos rotíferos; esto significa para el operador un proceso estable.

El *ciliado* será “el rey” en la planta, moviéndose rápido, girando sobre sí mismo, buscando los lugares más cálidos, utilizando sus cilios para generar un remolino y atraer a bacterias y disminuir la DBO. Si no hay ciliados, urgentemente se debe verificar que no haya condiciones sépticas, tóxicas o que falten nutrientes. Muchas veces se encuentran presentes en las etapas secundarias de la planta de tratamiento. Sin embargo, debe ser predominante en la puesta en marcha de la planta.

Los *flagelados* tienen una estructura igual a los ciliados, pero son más largos. Son unos de los pocos organismos capaces de sobrevivir en medios fuertemente contaminados con orgánicos. Debe haber una pequeña proporción en la operación normal de la planta. Al igual que los ciliados, deben predominar en la puesta en marcha de la planta.

Existen gusanos que se alimentan de bacterias, rotíferos y nematodos menores. Su presencia indica que el material es un lodo “viejo”. Otros organismos indeseables son los crustáceos porque se alimentan de los microorganismos que son necesarios para disminuir la DBO.

También pueden estar presentes larvas de dípteros: moscas, mosquitos y otros insectos molestos y nocivos. Se alimentan de cualquier material orgánico, su aparato bucal tiene pelos que le permite filtrar el agua y recoger microorganismos para llevarlos hacia su aparato digestivo.

En una planta de tratamiento por lodos activados puede hacerse el siguiente resumen:

Tabla N°2.1: Grupos de microorganismos predominantes en una planta de tratamiento

CONDICIONES	GRUPOS PREDOMINANTES
Alta carga orgánica	Flagelados, amebas y pequeños ciliados que pueden navegar libremente
Carga orgánica óptima	Buena diversidad de organismos, predominan los ciliados
Baja carga orgánica	Ciliados fijos, rotíferos, invertebrados mayores, especialmente nematodos

Fuente: Metcalf & Eddi.

Cada especie de microorganismo requiere un intervalo de condiciones físico-químicas específicas para su crecimiento. En una comunidad tan compleja como la de los lodos activados, los microorganismos compiten entre ellos para obtener el sustrato necesario para su desarrollo. La población bacteriana que degrada los compuestos orgánicos del agua residual es consumida por los protozoos, que son a su vez alimento de rotíferos y de otros organismos de mayor tamaño, estableciendo de esta manera una cadena trófica. La base de esta cadena alimenticia está constituida por las bacterias y los hongos.

2.2.3. Aireación prolongada

La aireación prolongada es una modificación del proceso de lodos activados para el tratamiento biológico de las aguas residuales en condiciones aeróbicas, encuadrándose dentro de las llamadas Tecnologías Convencionales.

Es un sistema que se suele aplicar para el tratamiento de las aguas residuales de poblaciones menores de 10.000 habitantes. Se emplea en plantas prefabricadas, para la depuración de pequeñas aglomeraciones: urbanizaciones, escuelas, campings, etc.

El agua residual tras una etapa de pre tratamiento, se introduce en una cuba de aireación o reactor biológico, en el que se mantiene un cultivo bacteriano en suspensión, formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos (lodos activados) al que se denomina “licor mezcla”. La degradación de la materia orgánica por los microorganismos se realiza en condiciones aerobias (Huertas, R. et al., 2006).

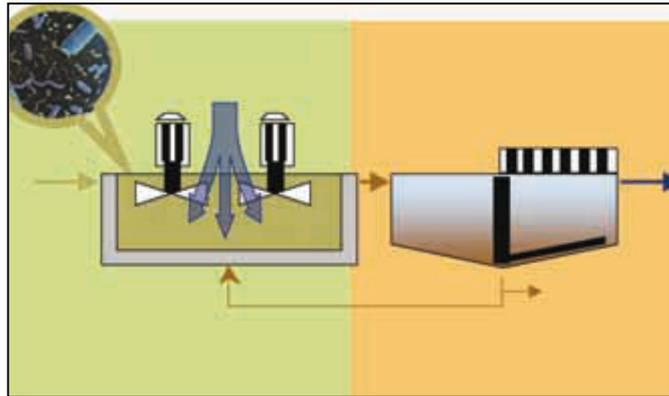


Figura N°2.17: Aireación prolongada.

Las condiciones aerobias en el Reactor se logran mediante el empleo de aireadores mecánicos o difusores que, además de oxigenar, permiten la homogeneización del licor mezcla, evitando la sedimentación de los flóculos en el reactor.

Tras un tiempo de permanencia en el reactor, el licor mezcla se pasa a un decantador o clarificador, que puede estar anexo a la cuba o estar incluido dentro de la misma, y cuya función es separar el efluente depurado de los lodos (nuevas células). Parte de los lodos se reciclan de nuevo al reactor, con objeto de mantener en éste una concentración determinada de microorganismos, y el resto se purga periódicamente.

La *Aireación Prolongada* opera con cargas orgánicas muy bajas y altos tiempos de aireación, prescindiendo de la *Decantación Primaria*, y generando fangos estabilizados, que tan sólo precisan ser deshidratados antes de su disposición final.

Las principales claves de funcionamiento del proceso de *Aireación Prolongada* se centran en un correcto dimensionamiento de la instalación, así como de un adecuado control del proceso. El control del proceso se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores que favorecen el eficaz tratamiento de las aguas residuales. Estos factores son fundamentalmente (Martín García, I. *et al*, 2006):

- Características de las aguas residuales a tratar: caudales, calidades, presencia de tóxicos, etc.
- Calidad del efluente depurado: porcentajes de eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
- Concentración de oxígeno disuelto en las *Cubas de Aireación*.
- Cantidad de lodos que debe mantenerse en el sistema de acuerdo con la carga orgánica influente.

- Los caudales de recirculación de lodos desde los *Decantadores Secundarios* a las *Cubas de Aireación*.
- Purgas de lodos en exceso.
- Controlar la calidad de los fangos que retornan a cabecera del tratamiento.

Ventajas

- Bajos requisitos de superficie.
- Buenos rendimientos de eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión.
- Los lodos salen de la *Cuba Biológica* ya estabilizados (Martín García, I. *et al*, 2006).

Inconvenientes

- Elevado consumo energético, ya que funcionan con energía eléctrica.
- Flexibilidad limitada a los cambios de caudal o carga orgánica.
- Si se emplean aireadores de superficie se forman aerosoles que pueden transportar agentes patógenos.
- Esto se puede eliminar si las cubas disponen de cubierta.
- Bajos rendimientos de eliminación de nutrientes y de patógenos.
- Control del proceso más complejo que en las *Tecnologías no Convencionales* (Martín García, I. *et al*, 2006).

En la Tabla N°2.2 se muestran las características de la Aireación Prolongada.

Tabla N°2.2: Características de funcionamiento del proceso lodos activados.

Modificación de proceso	Modelo de flujo	Sistema de Aireación	Eficiencia de eliminación de DBO, %	Observaciones
Aireación prolongada	Flujo pistón	Difusores de aire, aireadores mecánicos	75 - 95	Utilizado en pequeñas comunidades, plantas prefabricadas, ...El proceso es flexible.

Fuente: Metcalf & Eddi.

Capítulo 3: METODOLOGIA DE TRABAJO Y ESTUDIO DE CASOS.

3.1 Metodología

3.1.1 Recopilación bibliográfica

Primeramente, se procedió a la recopilación bibliográfica de teoría e información referente al tema, como estudios previos, bibliografía sobre tratamiento de aguas residuales, legislación, entre otras. Todos estos datos se obtuvieron mediante fuentes múltiples como documentos extraídos de internet, libros, documentos de la Empresa dedicada al rubro, entre otras.

Se recopiló y analizó toda la normativa (regional, nacional e internacional) que regula la reutilización de efluentes cloacales, mencionada en el Capítulo 1, cuya aplicación se discute más adelante en el Capítulo correspondiente a normativas.

3.1.2. Recopilación y examen de los análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos de la calidad del agua residual tratada.

En esta instancia se hizo la recopilación de los resultados de los análisis obtenidos de las plantas modulares de tratamiento. Este material fue suministrado por la Empresa Soluciones Ambientales S.R.L.

Los datos comprenden el periodo de años del 2006 al 2012. Los análisis a las plantas de tratamiento se realizaron trimestralmente tal como lo exigían las Autoridades de Aplicación de la Provincia de Neuquén.

Los informes de laboratorio de las plantas modulares de tratamiento contienen los parámetros solicitados por la Autoridad de Aplicación (Dirección Provincial de Recursos Hídricos).

En el estudio se realizó un análisis de los resultados de laboratorio y se identificaron los parámetros más relevantes para el objetivo del estudio. Estos datos se volcaron en una base de datos.

A continuación, se detallan parámetros y métodos de determinación:

Tabla N° 3.1: Parámetros analizados y métodos – Dirección Pcial. de Recursos Hídricos (Neuquén, 2006) – INGELAB Soluciones Ambientales.

PARAMETRO	METODO
pH	Método potenciométrico
Temperatura	Método termométrico
D.Q.O.	Método Dicromato-EFM
D.B.O.	Método 5 días-Diluciones múltiples
Aceites y grasas	Método Ex.en éter etílico
Detergentes	Método EFM
Hidrocarburos Totales	Método gravimétrico
Fósforo Total	Método EFM
Nitrógeno Total	Método EFM
Nitrógeno Amoniacal	Método Destilación-titulométrico
Sólidos Sedimentables 10 minutos	Método Imhoff
Sólidos Sedimentables 2 horas	Método Imhoff
Cloro residual activo	Método EFM
Coliformes fecales	Método NMP

EMF: Método Espectrofotométrico.

3.1.3. Rendimiento de la Planta Modular Móvil

Se realizó un análisis estadístico descriptivo calculando los parámetros estadísticos (medidas de centralización y dispersión) de los parámetros estudiados (DBO₅, DQO, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Coliformes Fecales), que reflejan el rendimiento de las plantas de tratamiento a lo largo del período de estudio. Estos parámetros fueron recopilados de bibliografía pertinente.

Para evaluar el rendimiento medio de remoción de las plantas de tratamiento se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- **DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno)**
- **DQO (Demanda Química de oxígeno)**
- **NITROGENO TOTAL (NT)**
- **FÓSFORO TOTAL (PT)**
- **COLIFORMES FECALES (CF)**

El rendimiento medio de remoción se entiende por el porcentaje de remoción, de un parámetro en estudio, que fue removido del efluente de entrada mediante el proceso de tratamiento de las plantas modulares móviles. Nos sirve para observar el rendimiento de la planta de tratamiento.

Mediante el análisis de la bibliografía se obtuvo el intervalo de porcentaje de remoción o reducción del parámetro presentados en la Tabla N°3.2, que indica el rendimiento medio de estas plantas de tratamiento que utilizan el proceso de lodos activados con aireación prolongada.

Tabla N°3.2: Rendimientos (%) medio de depuración que se alcanzan en función del tratamiento aplicado en las plantas modulares móviles.

PARAMETROS	RENDIMIENTOS MEDIOS DE DEPURACIÓN (%)
SS (SÓLIDOS SUSPENDIDOS)	80-90 (No aplica)
DBO	85-95
DQO	75-95
NT (NITÓGENO TOTAL)	30-40
PT (FOSFORO TOTAL)	20-30
COLIFORMES FECALES	85-95

Fuente: Martín García, I. et. al., 2006 - Huertas, R. et al., 2006.

SS (SÓLIDOS SUSPENDIDOS): No se toma en cuenta porque la normativa vigente provista por la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Neuquén, para el control de vertido de los efluentes finales no lo exige en su análisis. Por lo tanto, no se cuenta con este dato.

Antes de realizar el análisis, se determinarán los datos del efluente (crudo) que ingresa a las plantas de tratamiento obtenidos de la bibliografía y datos experimentales; se muestran en la Tabla N°3.3.

Tabla N°3.3: Concentración de contaminantes en efluente bruto (Martín García, I. et al;2006) (Soluciones Ambientales S.R.L., 2006)

EFLUENTE BRUTO	
PARAMETRO	CONCENTRACION
DQO	906 mg/l
DBO	427 mg/l
NT	126 mg/l
CF	15 mg/l
PT	400000 NMP/100 ml

Se trabajó con los datos promedios del efluente que ingresa (efluente crudo) a la planta de tratamiento. Para calcular la eficiencia, se calculó el rendimiento medio de depuración (%) de la siguiente manera:

Rendimientos medios de depuración (%)=

$$= \frac{\text{Concentración efluente entrada} - \text{Concentración efluente salida}}{\text{Concentración efluente entrada}} * 100$$

3.1.4. Cumplimiento de la Normativa para vertido de Aguas Residuales Tratadas

Se realizó un análisis estadístico descriptivo calculando los parámetros estadísticos (medidas de centralización y dispersión) de los parámetros solicitados por disposición de la Autoridad de Aplicación para el vertido de efluente tratado en cuerpos de agua, donde se describe el comportamiento de los mismos en el periodo de estudio.

Se analizaron las muestras obtenidas de plantas modulares móviles de tratamiento de aguas residuales durante el periodo de 2006 a 2012.

Las plantas de tratamientos fueron evaluadas por las Autoridades de Aplicación (EPAS, Subsecretaria de Medio Ambiente, RRHH) por la normativa correspondiente. Se tomaron como guías Ley de aguas de la provincia de Neuquén “Código de Aguas”- Ley N°899 Anexo II Decreto 790/99, resolución N° 181/00, Resolución N° 0709/11(EPAS) para controlar la calidad del efluente emitido por las plantas de tratamiento modulares.

Estas normativas corresponden a Límites permisibles en el vertido a cursos de agua, ya que no hay en la provincia una norma que regule el vertido de efluentes residuales en suelos (en el período de análisis de muestras).

A continuación, se muestra la tabla con los parámetros y sus límites permisibles para evaluar el funcionamiento de la planta y el control del vertido final. La Tabla N°3.4 se realizó a través de la disposición emitida por Recursos Hídricos en conjunto con Medio Ambiente y EPAS.

Tabla N°3.4: Límites permisibles para vertido de aguas residuales tratadas – Dirección Provincial de Recursos Hídricos – Neuquén, 2006.

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE
pH		6,5-9,5
temperatura	°C	45
DBO	mg/l	50
DQO	mg/l	250
Nitrogeno Total	mg/l	10
Nitrogeno Amoniacal	mg/l	3
Fosforo total	mg/l	1
Sólidos Sedimentables en 10 min	ml/l	1
Sólidos Sedimentables en 2 hs	ml/l	1
Grasas y aceites	mg/l	50
Detergentes	mg/l	1
Hidrocarburos Totales	mg/l	30
Coliformes fecales	NMP/100ml	5000

Luego del análisis estadístico se compararon los valores obtenidos con los valores establecidos por la normativa correspondiente (límites permisibles).

A partir de gráficos, se observó el comportamiento de los parámetros y si los mismos cumplían con los límites permisibles establecidos en la normativa. A modo de resumen se realizó una matriz, para verificar este cumplimiento:

PARAMETROS	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
pH							
temperatura							
DBO							
DQO							
N							
N Amoniacal							
P							
SS 10 min							
SS 2 hs							
Grasas y aceites							
Detergentes							
Hidrocarburos Totales							
Coliformes fecales							



No Cumple



Cumple

3.1.5. Salidas en terreno

Se realizaron visitas en la zona donde operaban las plantas modulares de tratamiento, pertenecientes a la Empresa, para efectuar la caracterización de la zona.

Se llevó a cabo una identificación de los aspectos ambientales relevantes para el estudio. Se determinaron y evaluaron los posibles impactos ambientales generados por la operación de la planta modular de tratamiento.

Se realizaron observaciones in situ con un registro fotográfico y recolección de datos de las plantas modulares de tratamiento y de la zona en donde operan.

3.1.6 Trabajo de gabinete

En los trabajos de gabinete se analizó y sistematizó la información obtenida de la recopilación bibliográfica durante el período de estudio, como también los datos obtenidos durante las salidas en terreno y de la recopilación de los resultados de los muestreos en las plantas modulares de tratamiento.

3.2. Estudio de casos

Se analizó el efluente tratado por las plantas modulares móviles de tratamiento de la Empresa Soluciones Ambientales S.R.L. que operaron en los yacimientos Centenario y Challacó, Provincia de Neuquén, para campamentos ligados a la actividad petrolera, durante un período de tiempo que va desde los años 2006 a 2012.

La Planta Modular Móvil de depuración se encontraba en sitios aledaños y alejados al campamento para no alterar las actividades y vida cotidiana en ellos. Además, se restringe el acceso a personal no autorizado para la operación, mantenimiento y/o control de los sistemas. El sitio fue debidamente señalado indicando restricción de acceso y prevención.

3.2.1. Vertido de efluentes

Los efluentes resultantes del tratamiento deben cumplir con la normativa de vertido vigentes emitida por la Dirección Provincial de Recursos Hídricos, para poder ser vertidos en el ambiente.

La disposición se realiza por infiltración en terreno. El suelo debe tener ciertas características que permitan el vertido y de esta forma evitar el contacto de personas con estos líquidos y reducir impactos ambientales.

3.2.2. Caudales a tratar

Para el control de los procesos y explotación de la planta depuradora es importante conocer la distribución de los caudales.

Las plantas móviles se instalaron en campamentos, los cuales tenían una población de aproximadamente 15 personas. Se tiene en cuenta que, de ese total de personas, sólo la mitad de ellos estuvo en forma permanente. En base a estudios de campo previos, el gasto diario de agua por persona es de 100 litros. El cálculo de este volumen de agua se realiza, teniendo en cuenta ciertas particularidades como:

- La comida, en el campamento, se entrega en forma de vianda. No se utiliza la cocina.
- La población permanente es menor.

Por lo tanto, se calculó el volumen total que se trató en la planta móvil:

$$100 \text{ L/día / persona} * 15 \text{ personas} = 1500 \text{ L/día}$$

y éste será el volumen diario aproximado a tratar.

A continuación, se obtuvo el promedio de flujo por hora:

$$1500 \text{ L / día} / 24 \text{ hs} = 62,50 \text{ L / hs}$$

Este flujo de 62,50 L/hs es el efluente que fue tratado en la planta móvil continuamente. Esto permite una alta retención de tiempo de líquidos para su mejor procesamiento.

En la Tabla N°3.5 se observa el flujo de efluente que ingresa a la planta de tratamiento durante el día, y el volumen de efluente que la planta trata cada hora.

El tratamiento de efluentes sanitarios en plantas móviles se desarrolla en forma concatenada. Las cámaras que componen la planta cumplen cada una su función determinada y generan un efluente en condiciones específicas para realizar la siguiente etapa, según puede verse en el Diagrama de Procesos y Diagrama de Flujo, que aparece en Anexo C.

Tabla N°3.5: Flujo ingresado y volumen tratado de efluente.

Horas	Caudal de ingreso efluente (L)	Caudal egreso efluente (L)	Caudal de ingreso acumulado (L)	Caudal de egreso acumulado (L)
(0-1)	0	62,5	0	62,5
(1-2)	0	62,5	0	125
(2-3)	0	62,5	0	187,5
(3-4)	0	62,5	0	250
(4-5)	0	62,5	0	312,5
(5-6)	0	62,5	0	375
(6-7)	190	62,5	190	437,5
(7-8)	120	62,5	310	500
(8-9)	60	62,5	370	562,5
(9-10)	40	62,5	410	625
(10-11)	40	62,5	450	687,5
(11-12)	40	62,5	490	750
(12-13)	200	62,5	690	812,5
(13-14)	60	62,5	750	875
(14-15)	30	62,5	780	937,5
(15-16)	20	62,5	800	1000
(16-17)	20	62,5	820	1062,5
(17-18)	80	62,5	900	1125
(18-19)	250	62,5	1150	1187,5
(19-20)	100	62,5	1250	1250
(20-21)	100	62,5	1350	1312,5
(21-22)	150	62,5	1500	1375
(22-23)	0	62,5	1500	1437,5
(23-24)	0	62,5	1500	1500

Fuente: Soluciones Ambientales S.R.L.

El sistema de control de flujos es por NIVEL MAXIMO DE LLENADO, actuado por medio de un flotante que envía la señal a la bomba de proceso para su accionamiento. Cada cámara cumple un determinado número de ciclos por día en función del caudal de entrada a la planta de tratamiento. El volumen de las cámaras es proporcional al tiempo de permanencia requerido del líquido a tratar para alcanzar la actividad biológica correspondiente.

Los dispositivos de trituración, aireación y recirculación son activados por una señal eléctrica temporal definida en función del tiempo de permanencia del líquido a tratar y de la operación llevada a cabo en la cámara en donde se encuentre. La planta posee un sistema de

bypass operativo para evitar vuelcos accidentales por rebalse o en condiciones no especificadas. Este *bypass* se acciona en situaciones de roturas o pérdidas continuas de agua no contaminada en los sanitarios conectados a la red de captación. En tal caso se detecta la falla y se envía directamente el agua no contaminada a deposición final de efluentes, asegurando así la correcta operatividad de la planta.

3.2.3. Disposición final de sólidos extraídos en filtros

La disposición de sólidos extraídos está definida por el grado de accesibilidad a la operación de extracción de los mismos. Los filtros cumplen la función de separar partículas mayores y cuerpos extraños del flujo líquido a tratar. Estos dispositivos están diseñados y posicionados para tener fácil acceso para su limpieza y mantenimiento.

Una vez retirados los residuos sólidos (trapos, papel, rejillas, algodones, plásticos) se colocan en un recipiente el cual tendrá una bolsa de residuos de polietileno. Luego son trasladados al predio de la empresa para su disposición final.

3.2.4. Generación y disposición final de lodos generados

Los lodos son materia acuosa en donde se concentran los sólidos sedimentados o decantados. Se generan a partir del agua bruta a tratar y en los lechos de los reactores biológicos en la planta de tratamiento de efluentes. Los fangos primarios proceden de la decantación directa del agua bruta, mientras que los secundarios proceden de la sedimentación del llamado licor mezcla del reactor biológico, y están compuestos en gran parte por células depuradoras.

3.2.5. Producción y características de los lodos

La extracción de lodos generados principalmente en la cámara de sedimentación se realiza por medio de un conducto situado en la parte más baja de la cámara. Este conducto es operado por una válvula de vaciado. Los lodos extraídos son acopiados según su disposición final. Las condiciones de diseño de la planta permiten que el proceso de extracción de lodos se realice bajo condiciones controladas.

Los lodos, tanto primarios como secundarios, tienen un contenido en agua superior al 95% y son putrescibles, por lo que los objetivos de su tratamiento son:

- Reducir su volumen mediante la eliminación de agua.
- Estabilizarlos para reducir su fermentación.
- Conseguir su óptimo manejo y transporte.

3.2.6. Plan de funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes.

Condición de vuelcos en las etapas de puesta en régimen:

DESARROLLO 24 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 24 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	600	900
Cámara Aeróbica	2100	600	0	600
Cámara de Sedimentación	2500	0	0	0
Cámara de Clarificación	750	0	0	0

DESARROLLO 48 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 48 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	1500	900
Cámara Aeróbica	2100	1500	0	2100
Cámara de Sedimentación	2500	0	0	0
Cámara de Clarificación	750	0	0	0

DESARROLLO 72 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 72 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	1500	900
Cámara Aeróbica	2100	1500	1500	2100
Cámara de Sedimentación	2500	1500	0	1500
Cámara de Clarificación	750	0	0	0

DESARROLLO 96 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 96 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	1500	900
Cámara Aeróbica	2100	1500	1500	2100
Cámara de Sedimentación	2500	1500	500	2500
Cámara de Clarificación	750	500	0	500

DESARROLLO 120 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 120 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	1500	900
Cámara Aeróbica	2100	1500	1500	2100
Cámara de Sedimentación	2500	1500	1500	2500
Cámara de Clarificación	750	1500	2000	0

Condición de vuelcos en estado de régimen:

DESARROLLO 144 hs de funcionamiento

	Capacidad litros	Caudal volumétrico recibido	Caudal volumétrico entregado	Stock al finalizar 144 hs operativas
Cámara Colectora	500	1500	1500	0
Cámara Anaeróbica	900	1500	1500	900
Cámara Aeróbica	2100	1500	1500	2100
Cámara de Sedimentación	2500	1500	1500	2500
Cámara de Clarificación	750	1500	1500	0

En la **Tabla N°3.6** se describen los componentes de las plantas de tratamiento y funciones.

Tabla N°3.6: Tabla descriptiva de los factores y de las funciones de los componentes de la planta de tratamiento de efluentes.

Descripción	Capacidad litros	Función	Ciclos por día en estado de régimen	Observaciones
Cámara Colectora	500	Colectar flujos a tratar	3	No requiere tiempo de permanencia del fluido para actividad bacteriana
Bomba Trituradora		Homogenizar tamaño partículas, conducir flujo		
Filtro		Extraer partículas mayores		
Flotante de nivel		Accionar la Bomba de proceso		
Cámara Anaeróbica	900	Digestión bacteriana anaeróbica	1,6	Requiere tiempo de permanencia del fluido para actividad bacteriana anaeróbica
Conducto de nivel		Llenado de la cámara aeróbica por nivel		
Cámara Aeróbica	2100	Digestión bacteriana aeróbica	0,7	Requiere tiempo de permanencia del fluido para actividad bacteriana aeróbica
Oxigenador mecánico		Incorporar oxígeno al fluido		
Bomba de proceso		Conducir flujo a la cámara siguiente		
Flotante de nivel		Accionar la Bomba de proceso		
Conexión de recirculación		Vinculación con fluido inoculado		
Cámara de Sedimentación	2500	Sedimentar materia en suspensión	0,6	Requiere tiempo de permanencia del fluido para la correcta sedimentación de partículas
Bomba de proceso		Conducir flujo a la cámara siguiente		
Bomba de recirculación		Enviar flujo inoculado a cámara aeróbica		
Flotante de nivel		Accionar la Bomba de proceso		
Conexión salida lodos		Conducto para la extracción de lodos		
Cámara de Clarificación	750	Desinfección del vuelco	2	Requiere tiempo de permanencia del fluido para la correcta desinfección y clarificación
Bomba de proceso		Conducir flujo tratado a deposición final		
Clarificador		Desinfectar el fluido por acción del cloro		
Filtro		Extraer partículas mayores		
Declorador		Eliminar el cloro del vuelco		

3.2.7. Caracterización ambiental de la zona de operación de las plantas de tratamiento

3.2.7.1. Clima

La región en estudio se encuentra dentro de la subregión Árida Mesetiforme, que constituye una transición hacia el clima árido patagónico. Es un clima árido y seco; caracterizado por una gran amplitud térmica y escasas precipitaciones (CFI, 1996).

Temperaturas

- Temperatura media anual: 14°C.
- Temperatura máxima media anual: 20°C-23°C.
- Temperatura mínima media anual: mayor 6°C.

Precipitaciones: Las precipitaciones, en esta región, son muy escasas, menores a 130 mm.

Vientos: Las direcciones predominantes de los vientos son del cuadrante oeste en invierno y la del Noroeste y Sudoeste para la época estival.

3.2.7.2. Geología y Geomorfología

El área de estudio se caracteriza por la presencia de amplias mesetas, discontinuas, cuyas superficies cuspidales son marcadamente planas, evidenciando un acentuado control estructural de los sedimentos que yacen horizontalmente. También es frecuente la presencia de cerros mesa que poseen bancos duros en su cumbre, que la protegen de la degradación. Existen otras geoformas, entre las que se destacan: pedimentos, bajadas y conos aluvionales. Se observan, en menor medida, fenómenos asociados a la actividad eólica como “montones de arena” o dunas enanas (COPADE - CFI, 1999).

3.2.7.3. Suelos

En esta región de estudio, entre los principales materiales originarios de los suelos se encuentran: depósitos aluviocoluviales provenientes en su mayoría de la alteración de sedimentitas, y depósitos de origen eólico. Entre los suelos dominantes, se encuentran (COPADE - CFI, 1999):

- Torriortentes típicos: se caracterizan por tener texturas medias a gruesas. En general son profundos, bien drenados y masivos o débilmente estructurados. Poseen muy bajos contenidos de materia orgánica. Las posiciones de paisaje ocupadas por estos suelos son los pedimentos de flanco, los valles intermontanos e interserranos, las bajadas y conos aluvionales modernos, los cordones de cerros elevados.
- Torripsamientos típicos: su textura es arena franca o más gruesa. Son algo excesivamente drenados, de rápida permeabilidad y en general son sueltos y no plásticos ni adhesivos en húmedo. El perfil característico es de desarrollo simple (A1, C1, C2) con muy buena profundidad efectiva y muy fácilmente penetrables por las raíces. Son suelos no salinos. Poseen restricciones climáticas, baja capacidad de retención hídrica. Se los puede encontrar en los campos de médanos y dunas enanas; adosadas y en forma muy localizada en cuevas y crestas estructurales.
- Calciortides típicos: posee texturas medias a gruesas (francas y franco arenosas). Contienen poca cantidad de fragmentos gruesos en el perfil. La profundidad efectiva de estos suelos es óptima. Se ubican en sectores planos o ligeramente inclinados, en bajadas y conos aluvionales modernos, en planicies estructurales y en serranías con plegamientos expuestos.

3.2.7.4. Flora

El área de estudio se encuentra en la provincia fitogeográfica del monte caracterizada por una vegetación estepa arbustiva. Está formada por arbustos que no superan los 3 metros de alto. Están muy separados entre sí y dejan grandes superficies de suelo desnudos que le dan al paisaje su tono grisáceo. En un estrato menor los acompañan plantas menores: suculentas, con bulbos o tubérculos, y efímeras que se adaptan a la aridez.

La comunidad vegetal más característica es el jarillal. Son arbustos ramificados desde la base, sin espinas, con hojas pequeñas siempre verdes y flores amarillas. Entre los demás arbustos que las acompañan se destacan la pichana y el retamo. También se observan arbustos muy espinosos como el alpataco y la lata (endémica del monte).

3.2.7.5. Fauna

Tabla N°3.7: Fauna Autóctona

Fauna Autóctona	
Categoría taxonómica	Nombre común
Fam. Tropicuridae Liolaemus austromendocinus	Largatija
Fam. Cathartide Coragyps atratus Cathartes aura	Buitre cabeza negra Buitre cabeza roja
Fam. Canidae Dusicyon griseus Dusicyon culpaeus	Zorro gris Zorro colorado
Fam. Edentados Zaedyus piche	Piche
Fam. Caviomorpha Microcavia australis	Cuis

Fuente: Elaboración con datos del COPÁDE.

3.2.7.6. Impacto y Plan de Gestión Ambiental

En la Tabla N°3.8 un resumen del impacto ambiental generado por la instalación y operación de las plantas móviles de tratamiento con su correspondiente plan de gestión para minimizar los impactos.

Tabla N°3.8: Cuadro resumen de Impactos Ambientales y Plan de Gestión propuesto.

IMPACTOS AMBIENTALES		PLAN DE GESTION AMBIENTAL
CONSUMOS	Al ser mínimos los consumos de energía durante la operación de la planta, combustibles y electricidad principalmente, los impactos producidos sobre el medio ambiente son muy bajos.	
DERRAMES DE EFLUENTES	Los derrames pueden generarse a causa del rebalse de la planta o por roturas en conexiones y/o cañerías. En este caso, el impacto producido es sobre el suelo, aunque en baja proporción ya que la composición de estos efluentes no presenta prácticamente toxicidad porque se trata básicamente de materia orgánica.	Se implementarán medidas para evitar este tipo de derrame. Las medidas incluyen el mantenimiento de mangueras y/o conexiones, de las cámaras de tratamiento. En caso de rebalse de la planta de tratamiento, los operarios actuarán de manera inmediata para evitar contingencias mayores. La planta de tratamiento posee una válvula de by pass que se accionara cuando ocurra el rebalse.

		En el lugar, se contará con equipo de herramientas y equipos de protección personal necesarios para limpiar cualquier derrame o pérdida accidental. Se contará con instalaciones de soporte móviles para la captación de los derrames.
DERRAMES DE PRODUCTO QUÍMICO	Puede producirse derrame de cloro cuando exista rotura en tanques contenedores, pérdidas en el depósito o en las bombas dosificadoras o bien por vertido accidental, en estos casos se ve afectado el suelo alterando sus propiedades químicas. Debido a que éste producto es corrosivo, irritante e inestable, se deben tomar precauciones respecto a la salud y seguridad de los operarios que lo manipulen.	<p>Se implementará acciones de mantenimiento para evitar cualquier derrame de cloro. Entre ellas, se encuentran el mantenimiento de las bombas de dosificación, la inspección y limpieza de válvulas, evaluación y calibrado de equipos.</p> <p>Se inspeccionará la cámara de desinfección rutinariamente a fin de detectar alguna fuga.</p> <p>El cloro se almacenará de manera segura y apropiada.</p> <p>Se desarrollará un plan de emergencias en caso de derrame o pérdida accidental.</p> <p>Los operarios que manipulen este producto utilizarán los equipos de protección personal adecuados.</p>
VERTIDO DE EFLUENTE FINAL	El efluente final vertido sobre el suelo afecta mínimamente la composición química de este, así como a la flora y fauna existente circundante, debida a que cumple con los límites máximos permitido de calidad exigidos por los organismos competentes.	<p>Se realizarán análisis de las características físicas y biológicas del efluente vertido sobre el suelo. Esto permitirá evaluar y realizar ciertos ajustes en distintos parámetros para obtener una mejor calidad del efluente; y cumplir con los límites permisibles establecidos por el organismo competente para su vertido.</p> <p>El vertido de efluente sobre suelo se realizará por medio de difusión. Esto evitará que durante el vertido se produzcan enlagnados.</p>
DISPOSICIÓN DE LODOS	El lodo generado durante el proceso de tratamiento es mínimo y debe ser evacuado, acondicionado y tratado adecuadamente para minimizar el impacto al medio ambiente.	<p>Los lodos generados durante el proceso de tratamiento serán evacuados mediante camiones atmosféricos y se enviarán a la planta de tratamiento de lodos.</p> <p>La cantidad de lodos generados en las plantas de tratamiento es muy pequeña, por lo tanto, los volúmenes a tratar serán pequeños. Teniendo en cuenta que se retirará una parte de los lodos para mantener de esta forma una población de microorganismos adecuada para llevar a cabo el proceso biológico en las plantas de tratamiento.</p>

Fuente: Cuadro de elaboración con datos suministrados por: Soluciones Ambientales S.R.L.

El plan de gestión propuesto en aquella oportunidad, se cumplió en la mayoría de las propuestas realizadas dando un óptimo funcionamiento y minimizando los impactos tanto en el medio ambiente como para la salud de trabajadores, operadores y personas en general.

Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados eficiencia de remoción

Se analizaron los datos provenientes de los análisis de los efluentes tratados y se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros correspondientes, durante el período de tiempo de 2006 a 2012.

En la Tabla N°4.1 se presenta los datos de los valores medios de concentración de los parámetros en estudio, en el afluente y efluente. Con estos datos se calculó la eficiencia de la remoción (%) y los resultados se observan en la Tabla N°4.2.

Tabla 4.1: Valores medios de concentración del efluente tratado. Período 2006 - 2012

		EFLUENTE (CONCENTRACIÓN MEDIA)						
PARAMETRO	AFLUENTE (CONCENTRACIÓN MEDIA)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
DBO	906 mg/l	57,00	39,50	25,00	67,50	12,50	9,00	28,50
DQO	427 mg/l	249,00	107,50	90,00	97,50	31,00	34,00	97,50
NT	126 mg/l	102,50	95,50	5,00	12,50	56,85	8,00	28,50
PT	15 mg/l	9,65	8,90	0,20	2,70	2,79	1,55	2,20
CF	400000 NMP/100 ml	10501,50	551,50	1800,00	33,00	11537,50	3,00	915,00

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno **DQO:** Demanda Química de Oxígeno **NT:** Nitrógeno Total
PT: Fosforo Total **CF:** Coliformes Fecales

Tabla 4.2: Eficiencia de remoción. Período 2006 - 2012

		EFICIENCIA DE LA REMOCION (%)						
PARAMETRO	RENDIMIENTOS MEDIOS DE DEPURACIÓN (%)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
DBO	85-95	93,71	95,64	95,58	92,55	98,62	99,01	96,85
DQO	75-90	41,69	74,82	74,24	77,17	92,74	92,04	77,17
NT	30-40	14,29	24,21	94,84	90,08	54,88	93,65	77,38
PT	20-30	35,67	40,67	96,00	82,00	81,40	89,67	85,33
CF	85-95	97,37	99,86	98,98	99,99	97,12	100,00	99,77

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno **DQO:** Demanda Química de Oxígeno **NT:** Nitrógeno Total
PT: Fosforo Total **CF:** Coliformes Fecales

El primer año de puesta en funcionamiento de la planta modular móvil de tratamiento de aguas residuales en los campamentos petroleros fue en 2006. En este año se utilizaron turbinas superficiales para aportar oxígeno en la cámara de aireación durante el proceso.

Se observa que, en el transcurso del año **2006**, los parámetros **DQO y Nitrógeno Total** están por debajo del rango de porcentaje de rendimiento medio de depuración, mientras que los parámetros **DBO₅, Fósforo Total y Coliformes Fecales** se encuentran por encima del rango de porcentaje de rendimiento medio de depuración. En general, la planta tuvo un rendimiento bajo.

En el transcurso del año **2007**, se observa que los parámetros **DQO y Nitrógeno total** están por debajo del porcentaje de rendimiento medio de depuración para el funcionamiento de la planta. A mediados del año, se comenzó a colocar en las plantas de tratamiento los difusores de membrana.

Con respecto al año 2006, se observa que los parámetros **DQO y Nitrógeno Total** que el porcentaje de eficiencia de remoción aumentó. El rendimiento medio de la planta, para este año, es relativamente bueno

En el transcurso del año **2008**, observamos que la mayoría de los parámetros están dentro del porcentaje de rendimiento medio de depuración para un óptimo funcionamiento de la planta. Mientras, que el parámetro **DQO** se encuentra por debajo del rendimiento medio de depuración. Se observa que los valores de eficacia de remoción son relativamente altos. Por lo tanto, la planta de tratamiento ha operado de forma óptima.

En el transcurso del año **2009**, todos los parámetros se encuentran dentro del rango de porcentaje de rendimiento medio de depuración para un óptimo funcionamiento de la planta. Se observan altos rendimientos de remoción en el transcurso del año. El rendimiento de las plantas de tratamiento fue óptimo.

En el transcurso del año **2010**, todos los parámetros se encuentran por encima del rango de porcentaje de remoción óptimo de funcionamiento. El rendimiento de las plantas de tratamiento, durante este año, fue óptimo. Los valores de remoción son altos.

En el transcurso del año **2011**, se observa que todos los parámetros se encuentran por encima del rango de porcentaje de remoción óptimo de funcionamiento; con valores altos. El rendimiento de las plantas de tratamiento fue óptimo.

Durante el año **2012**, todos los parámetros se encuentran por encima o dentro del rango de porcentaje de rendimiento medio de depuración. El rendimiento de las plantas de tratamiento fue óptimo. Con respecto al año 2011, el rendimiento fue menor.

RENDIMIENTO DE LAS PLANTAS DURANTE EL PERIODO 2006-2012

En las siguientes figuras se observa la eficiencia de remoción de cada uno de los parámetros que se analizan para medir el rendimiento y óptimo funcionamiento de las plantas de tratamiento, durante el período de tiempo del 2006 al 2012.

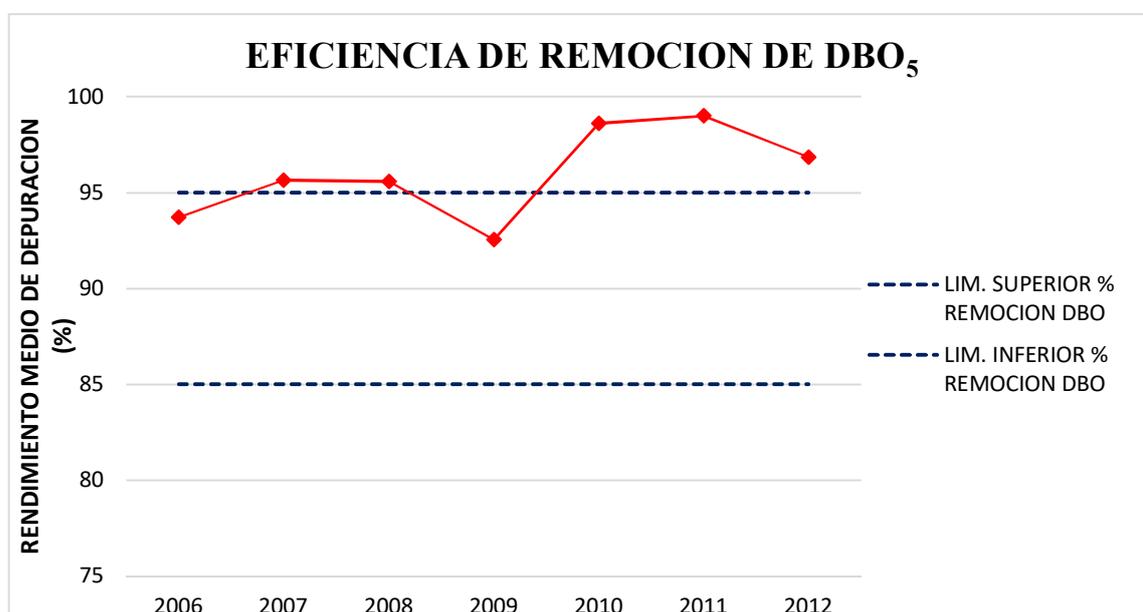


Figura N° 4.1: Eficiencia de remoción de DBO₅

En la **Figura N° 4.1** se observa que durante el período de tiempo 2006-2012, la eficiencia de remoción de la **DBO₅** tiene un óptimo rendimiento medio de depuración para las plantas modulares móviles de tratamiento.

El primer año (2006) se puede observar que los rendimientos medios de depuración son bajos, lo mismo ocurre para el año 2009 donde se nota un descenso del valor de la eficiencia de remoción. En los primeros años (2006-2008) puede verse que los rendimientos medios de depuración son más bajos que en los siguientes años (2010-2012).

En la **Figura N°4.2** se observa que durante el período de tiempo 2006-2012, el comportamiento del rendimiento medio de depuración de la **DQO** es variable. En el primer año de operación (2006) el rendimiento de remoción de la DQO es muy bajo. Mientras, que en los años 2007 y 2008 (74%) los valores de eficiencia aumentaron y se encuentran cercanos al valor óptimo.

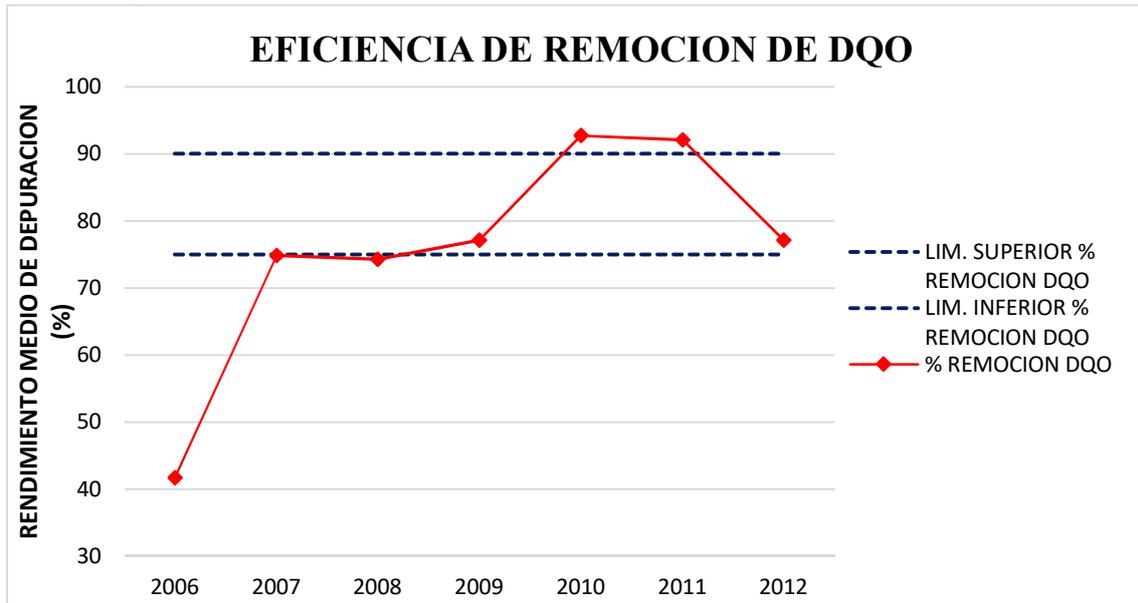


Figura N°4.2: Eficiencia de remoción de DQO.

En los siguientes años posteriores la eficiencia de remoción es óptima para estas plantas. Además, se verifica que en los años 2010 y 2011 los valores se encuentran por encima del límite superior de rendimiento medio de depuración (92%). El orden de rendimiento medio de depuración se encuentra entre un 75% a 92%.

En la **Figura N°4.3**, se observa que los primeros años (2006 y 2007) los valores se encuentran por debajo del rango de rendimiento medio de depuración. En los años posteriores (2008-2009-2010-2011-2012) los valores están por encima del rango de rendimiento medio de depuración, manteniendo el porcentaje de eficiencia en el orden del 54% al 94%.



Figura N°4.3: Eficiencia de remoción de Nitrógeno Total (NT).

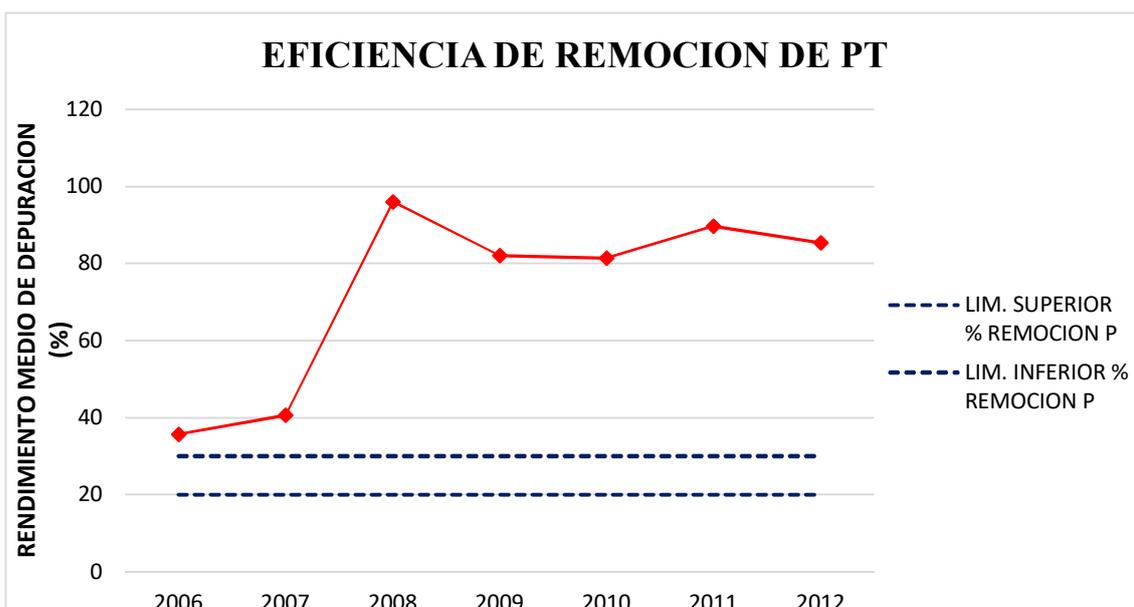


Figura N°4.4: Eficiencia de remoción de Fósforo Total (PT).

En la Figura N°4.4, es posible ver que en todo el período de años de muestro (2006-2012) los valores se encuentran por encima del rango de rendimiento medio de depuración. El orden de eficacia en estos años está entre 80% a 96%. En los primeros años (2006 y 2007), se observan los valores más bajos de rendimiento de depuración, mientras que en los años posteriores los valores de rendimiento de depuración se mantienen aproximadamente en el mismo orden.

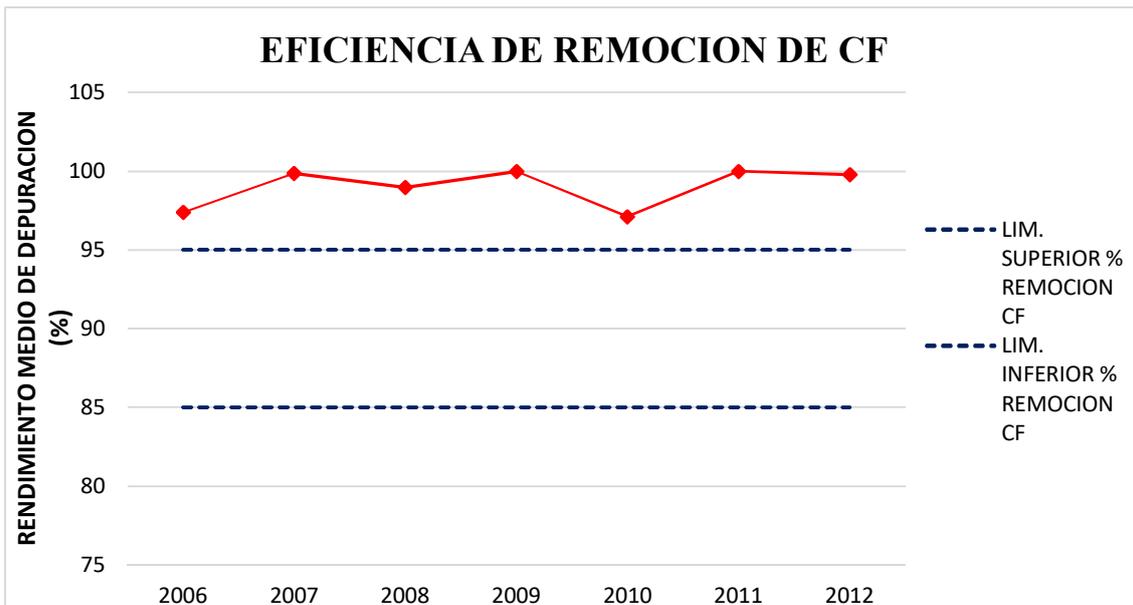


Figura N°4.5: Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales (CF).

Con respecto a la Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales, en la **Figura N°4.5** se aprecia que todos los valores obtenidos durante el periodo de años 2006-2012 se encuentran por encima del rango de rendimiento medio de depuración. Además, estos valores tienen un comportamiento sin marcadas variaciones. El orden de eficacia está entre 95% a 100%.

A continuación, en la **Figura N°4.6** se muestran los resultados globales de Rendimiento de las Plantas Modulares Móviles.

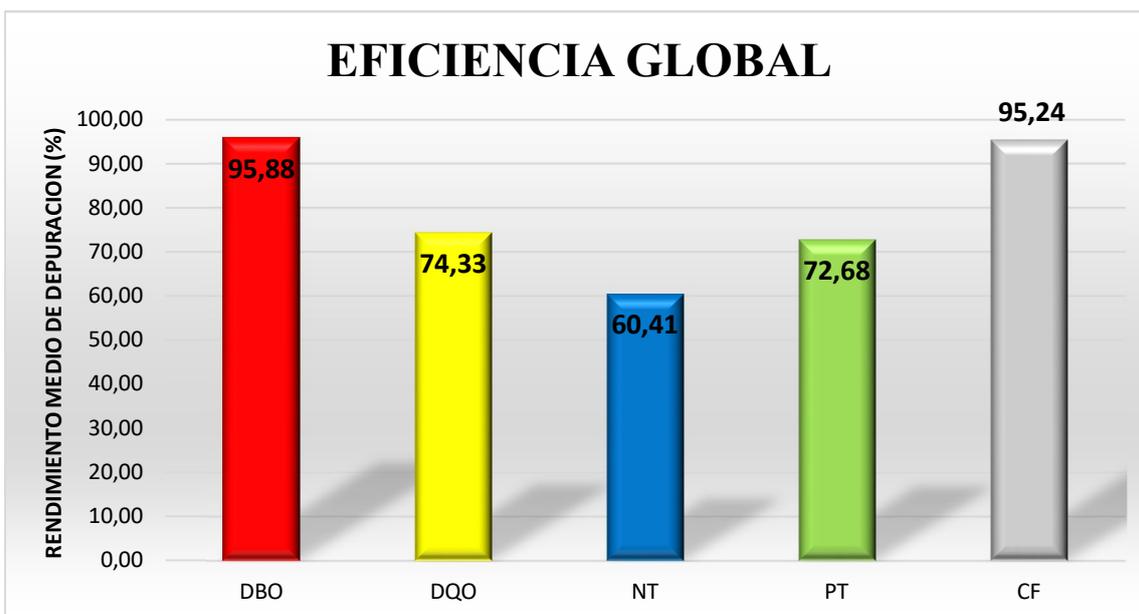


Figura N°4.6: Eficiencia global de las Plantas Modulares Móviles.

4.2. Discusión de resultados

Las Plantas Modulares Móviles de Tratamiento de Aguas Residuales utilizan una tecnología ampliamente conocida y aprovechada principalmente en comunidades pequeñas, tienen una alta eficiencia de depuración.

El presente estudio se realizó sobre estas Plantas Modulares que operaron en campamentos petroleros ubicados en la provincia de Neuquén, durante el período de 2006 a 2012. Uno de los objetivos propuestos en el estudio fue evaluar la eficiencia de las Plantas Modulares Móviles de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. De los resultados obtenidos, se concluye que las plantas operaron de manera óptima luego de los dos primeros años de puesta en marcha y operación.

El parámetro **DBO₅** tuvo valores acordes a los valores de rendimiento medio que poseen estas plantas. Los valores oscilan entre el orden del 93 % al 99% de eficiencia.

La eficiencia de remoción de la **DQO** estuvo en el orden del 75% al 92%. Este rendimiento coincide con estudios realizados en similares plantas de tratamiento. En un estudio realizado en Plantas de Tratamiento con similares características (*Sansot y Sosa, 2005*) se determinó que estos depuradores tienen una eficiencia de eliminación de la DQO del 75% al 95%.

Otro parámetro medido para determinar el rendimiento de las Plantas de Tratamiento fue el **Nitrógeno Total**. La eficiencia de este parámetro está en el orden del 54% al 94% aproximadamente. Aunque, durante el periodo de análisis, presenta algunas oscilaciones con valores muy bajos en los primeros años (2006 y 2007) de funcionamiento en el orden del 14 – 24%.

El **Fósforo Total** presenta una eficiencia de remoción entre un rango del 80% al 96%. Se observan valores menores en el orden del 35 – 40% en los primeros años (2006 y 2007).

El grado de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales se define como la reducción porcentual de indicadores apropiados. En general, el grado de eficiencia permite evaluar la capacidad de rendimiento de los procesos o parte de ellos. En la determinación del grado de eficiencia de las plantas de tratamiento, los valores DQO y DBO₅ juegan el papel más importante.

Estas plantas combinan digestión anaerobia, aeróbica por aireación extendida y lodos activados, en un módulo compacto de dimensiones reducidas, obteniéndose procesos

depuradores de líquidos cloacales con alto rendimiento (92%). Las plantas por sus características resultan prácticamente libres de mantenimiento y sin necesidad de purgar barros durante su funcionamiento.

Las Plantas de este tipo necesitan de un tiempo de residencia en el sistema para asegurar el crecimiento de los microorganismos y poder realizar de manera adecuada el tratamiento. Esta es una de las razones por la que en el primer año de operación las plantas hayan tenido una baja eficiencia de remoción.

El proceso requiere un sistema de aireación y de agitación que suministre el oxígeno requerido por las bacterias encargadas de la depuración, evite la sedimentación de los flóculos en el reactor y permita la homogeneización completa. En el primer año (2006) se utilizaban para el aporte de oxígeno, turbinas con paletas que solo realizaban la mezcla a nivel superficial. Para mejorar la eficiencia del tratamiento, se implementó un sistema de aireación (sopladores de doble membrana) el cual arrojó mejores rendimientos.

Una vez tratados los efluentes residuales domésticos, los mismos son vertidos sobre suelos. Para ello, es necesario demostrar que estos efluentes cumplen con los límites máximos permisibles de las normativas emitidas por las Autoridades de Aplicación. Durante el estudio, se analizaron los datos obtenidos de los efluentes y se evaluó y determinó la calidad de los mismos, la cual se encuadró dentro de la normativa correspondiente, aunque los parámetros Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total al comienzo no cumplieron con los límites permisibles estipulados en la normativa. Esto recién se logró a partir del año 2008, como se verá en el capítulo que sigue.

Capítulo 5: RESULTADOS SEGÚN LA NORMATIVA DE VERTIDO

5.1. Resultados de análisis de la normativa

A continuación, en la Tabla N°5.1 se muestran los resultados de la concentración media de los parámetros en estudio. En la Figura N°5.1 se observan gráficamente el porcentaje del cumplimiento de la normativa durante los años 2006 al 2012.

Tabla 5.1: Valores medio de concentración - Período 2006-2012

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE	CONCENTRACIÓN MEDIA						
			2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
pH		6,5-9,5	7,30	6,90	6,90	7,00	7,70	7,50	7,15
temperatura	°C	45	15,25	19,00	15,00	21,10	23,50	11,00	17,00
DBO	mg/l	50	57,00	39,50	25,00	67,50	12,50	9,00	28,50
DQO	mg/l	250	249,00	107,50	90,00	97,50	31,00	34,00	97,50
Nitrógeno Total	mg/l	10	102,50	95,50	5,00	12,50	56,85	8,00	28,50
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	3	93,15	3,70	1,90	2,25	11,60	0,50	23,00
Fosforo total	mg/l	1	9,65	8,90	0,20	2,70	2,79	1,55	2,20
Sólidos Sedimentables en 10 min	ml/l	1	0,10	0,10	0,40	0,90	0,10	0,10	0,10
Sólidos Sedimentables en 2 hs	ml/l	1	0,15	0,15	0,10	1,00	0,15	0,10	0,10
Grasas y aceites	mg/l	50	13,50	5,50	15,00	11,50	5,50	1,00	5,00
Detergentes	mg/l	1	1,11	3,36	0,50	0,50	0,12	0,10	0,10
Hidrocarburos Totales	mg/l	30	5,00	5,00	1,00	10,00	5,00	1,00	5,00
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5000	10501,50	551,50	1800,00	33,00	11537,50	3,00	915,00

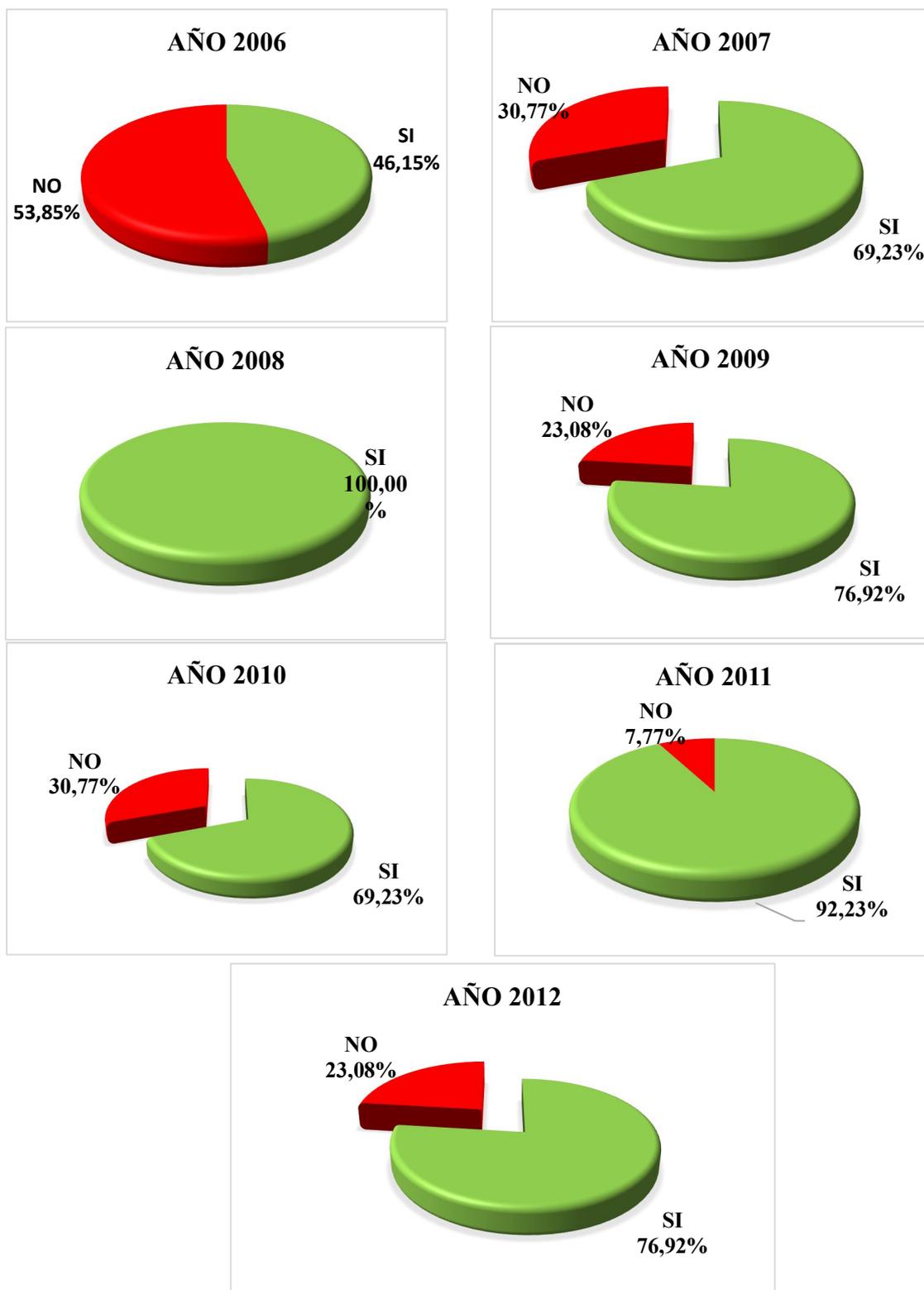


Figura N°5.1: Cumplimiento de Normativa – Año 2006-2012.

En el primer año de puesta en marcha de la planta modular móvil, se observa que más de la mitad (53,85%) de los parámetros analizados (Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal,

Fosforo, DBO, DQO, Detergentes y Coliformes Fecales) no cumplen con el límite permisible establecidos por la normativa, mientras que en un 46,15% de los parámetros cumplen con la normativa establecida por las Autoridades de Aplicación. Los valores son muy elevados, y se debe prestar mucha atención a los Coliformes Fecales, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fosforo total.

En el transcurso del año **2007**, se observa que el 69,23% de los parámetros cumplen con la normativa establecida por las Autoridades de Aplicación, mientras, que el 30,77% de los parámetros (Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, Fósforo, y Detergentes) no cumple con los límites permisibles establecidos.

Se observa que los valores más altos y que están muy por encima del límite permisible son Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fosforo. Además, son los mismos parámetros que no cumplen el límite en el año 2006.

En el año **2008**, observamos que todos los parámetros analizados de las muestras se encuentran dentro del límite permisible en la normativa establecida por la Autoridad de Aplicación.

En el año **2009**, se observa que el 76,92% cumple con los límites permisibles de la normativa establecida por la Autoridad de Aplicación, mientras que el 23,08% de los parámetros (DBO, Nitrógeno Total y Fósforo total) no cumple con los límites permisibles.

En el año **2010**, se observa que el 69,23% cumple con los límites permisibles de la normativa establecida por la Autoridad de Aplicación, mientras que el 33,77% de los parámetros (Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, Fosforo total y Coliformes fecales) no cumplen con los límites permisibles. Se observan valores muy altos por encima del límite permisible para los parámetros Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal.

En el año **2011**, se observa que el 92,23% cumple con los límites permisibles de la normativa establecida por la Autoridad de Aplicación, mientras que el 7,77% de los parámetros (Fosforo total) no cumplen con los límites permisibles.

En el año **2012**, se observa que el 76,92% cumplen con los límites permisibles de la normativa establecida por la Autoridad de Aplicación, mientras que el 23,08% de los parámetros (Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fosforo total) no cumplen con los límites permisibles. Los parámetros Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal están por muy encima del límite permisible.

En la Tabla N°5.2, a modo de resumen se elaboró una matriz donde se observa el cumplimiento y no cumplimiento de la normativa emitida por la Dir. Pcial de Recursos Hídricos.

Tabla N°5.2: Matriz de cumplimiento de normativa.

PARAMETROS	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
pH	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
temperatura	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
DBO	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
DQO	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
NT	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
N Amoniacal	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
PT	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
SS 10 min	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
SS 2 hs	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Grasas y aceites	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Detergentes	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Hidrocarburos Totales	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Coliformes fecales	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Cumple
 No Cumple

COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS EN EL PERIODO 2006-2012

A continuación, se mostrarán unos gráficos con el comportamiento de los parámetros analizados durante el período de 2006 a 2012.

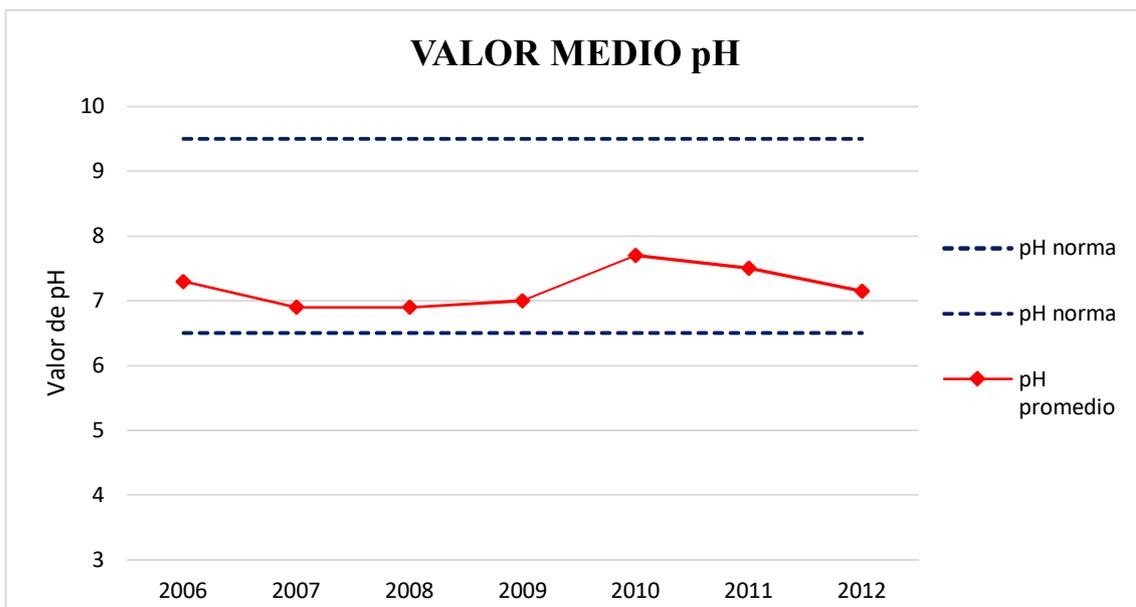


Figura N°5.2: Comportamiento de valor medio de pH – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.2, se observa que el valor medio de pH se mantiene dentro de los valores que la normativa establece.

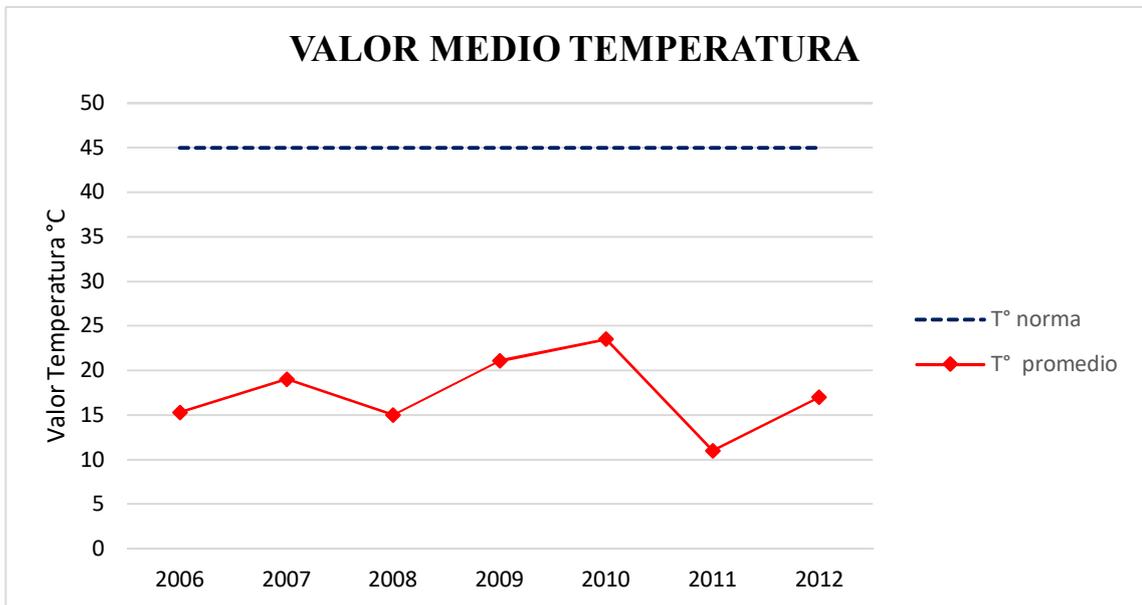


Figura N°5.3: Comportamiento de valor medio de Temperatura – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.3, se observa que los valores medios de Temperatura se mantienen dentro de los valores que la normativa establece.

Aunque se puede ver que en el año 2011 existe un descenso del valor medio de Temperatura, éste se encuentra dentro del límite permisible.

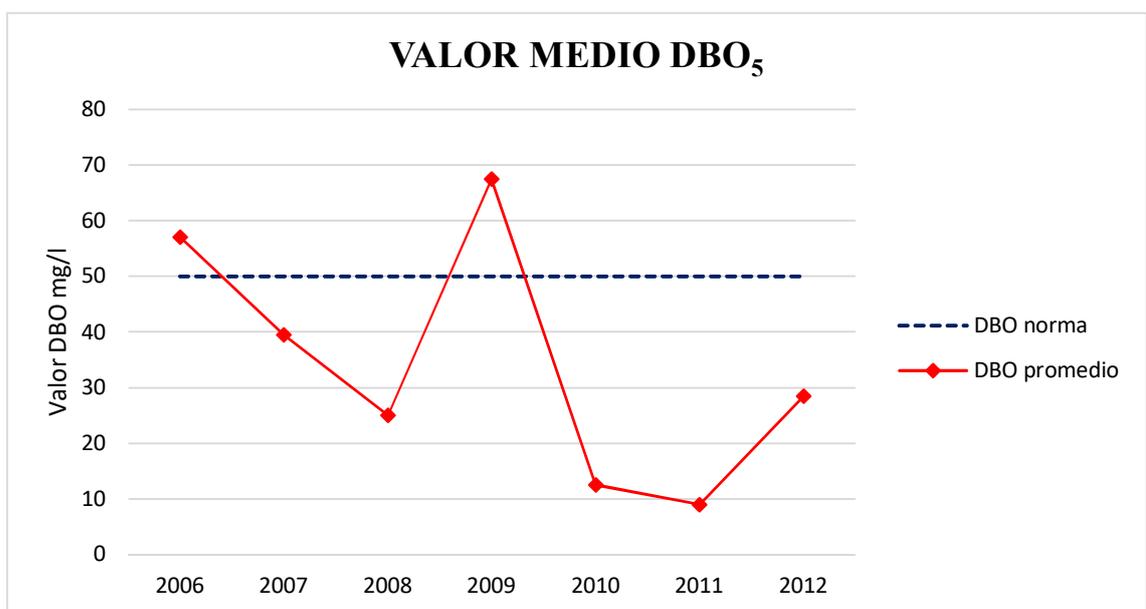


Figura N°5.4: Comportamiento de valor medio de DBO₅ – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.4, se observa que la mayoría de valores medio de DBO₅ (2007, 2008, 2010, 2011 y 2012) se mantiene dentro de los valores que la normativa establece, aunque en los años 2006 y 2009 existe un incremento del valor medio de DBO, aún más marcado para el año 2009 (67,50 mg/l).

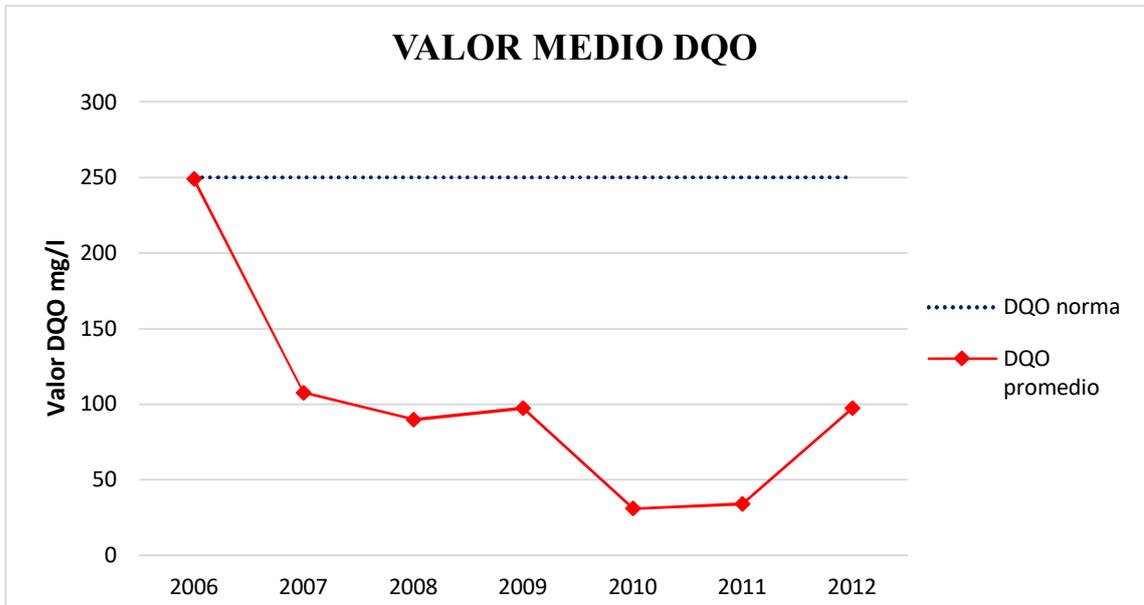


Figura N°5.5: Comportamiento de valor medio de DQO – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.5, se observa que todos los valores medio de DQO durante el periodo de tiempo se mantiene dentro de los valores que la normativa establece, aunque se observa que, en el año 2006, el valor DQO se encuentra al límite del valor permisible (249 mg/l).

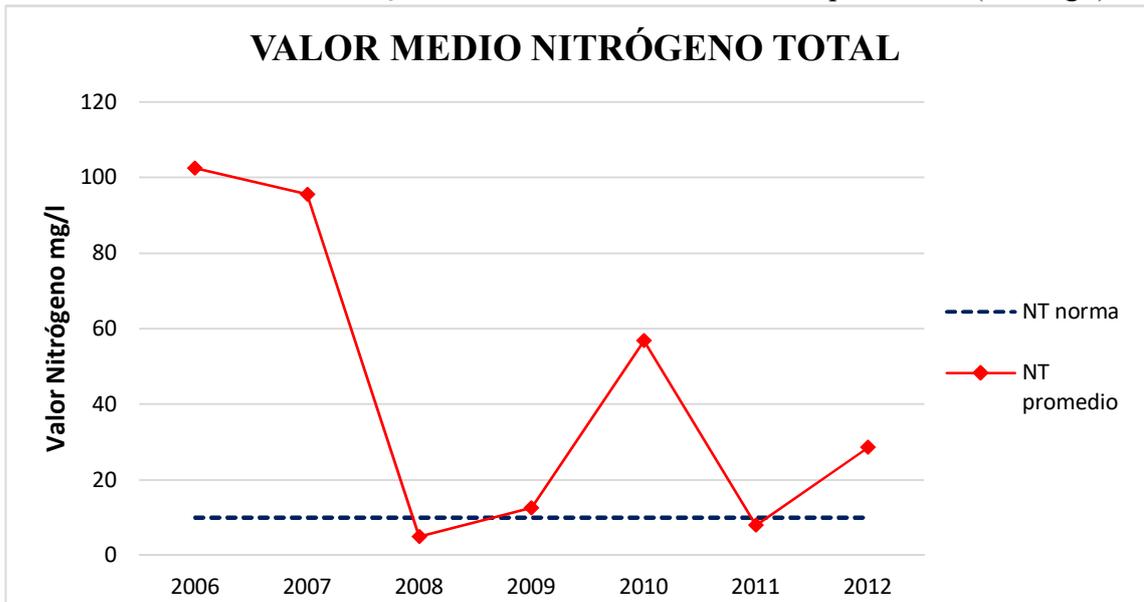


Figura N°5.6: Comportamiento de valor medio de Nitrógeno Total – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.6, se muestra que los valores medio de Nitrógeno Total para los años 2006, 2007, 2009, 2010 y 2012; se encuentran fuera del límite permisible que la normativa establece. Los valores más altos corresponden a los primeros años 2006 (102,50 mg/l) y 2007 (95,50 mg/l). Los demás años son valores más bajos, más cercanos al límite permisible de la normativa. En los años 2008 y 2011 los valores se encuentran dentro del límite permisible.

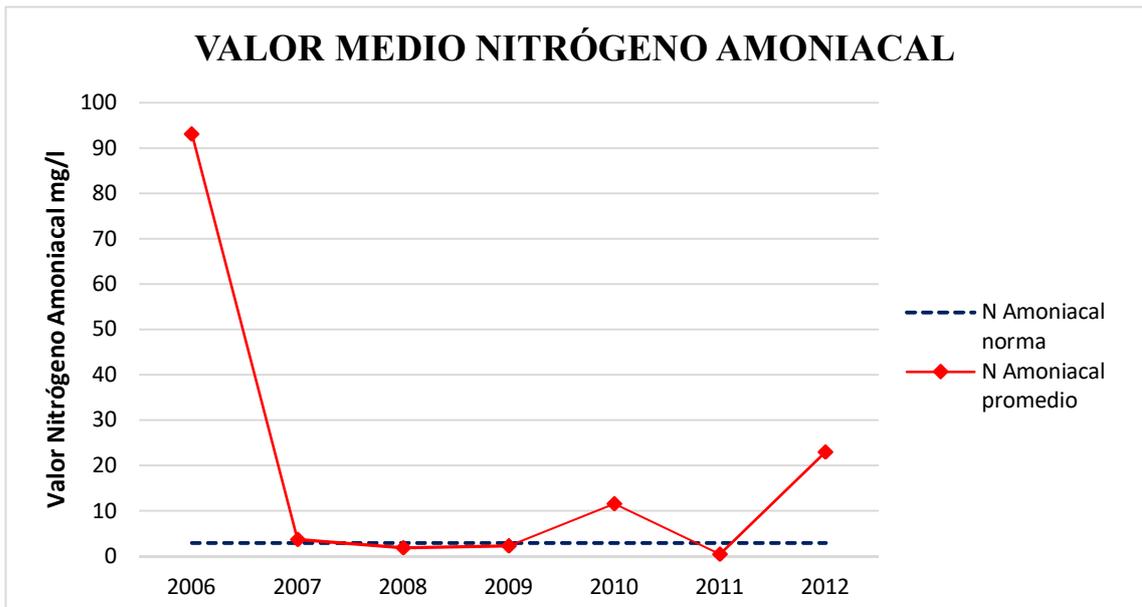


Figura N°5.7: Comportamiento de valor medio de Nitrógeno Amoniacal – Período 2006 a 2012.

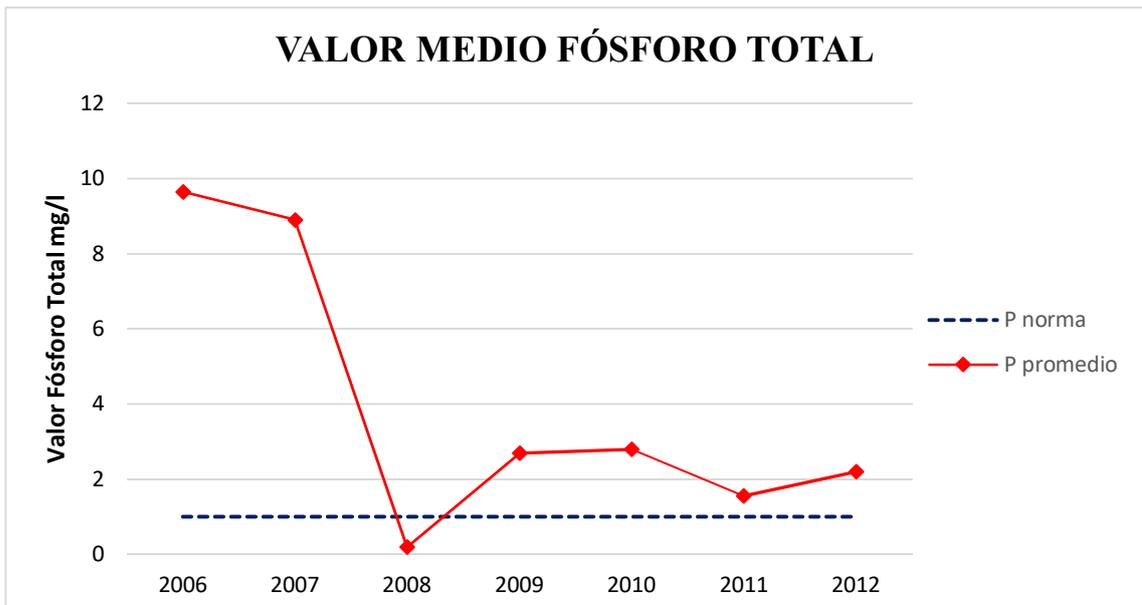


Figura N°5.8: Comportamiento de valor medio de Fósforo Total – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.7, se observa que, en los años 2008, 2009 y 2011 los valores medios de Nitrógeno Amoniacal encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece.

Los valores están más cercanos al límite permisible de la normativa. En los años 2006, 2007, 2010 y 2012 los valores se encuentran fuera del límite permisible. En el año 2006 (93,15 mg/l) se observa un incremento muy marcado del valor medio de Nitrógeno Amoniacal.

La Figura N°5.8 muestra que la mayoría de los valores de Fósforo Total se encuentran fuera del límite permisible que la normativa establece. El valor medio más alto y acentuado se observa para el año 2006 (9,65 mg/l). Para el año 2008, el valor medio de fósforo total se encuentra dentro del límite permisible.

En la Figura N°5.9 se observa que todos los valores medio de Sólidos Sedimentables en 10 minutos se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece.

En general, el comportamiento es estable, salvo en los años 2008 (0,40 mg/l) y 2009 (0,90 mg/l) donde se observa un incremento en los valores medio.

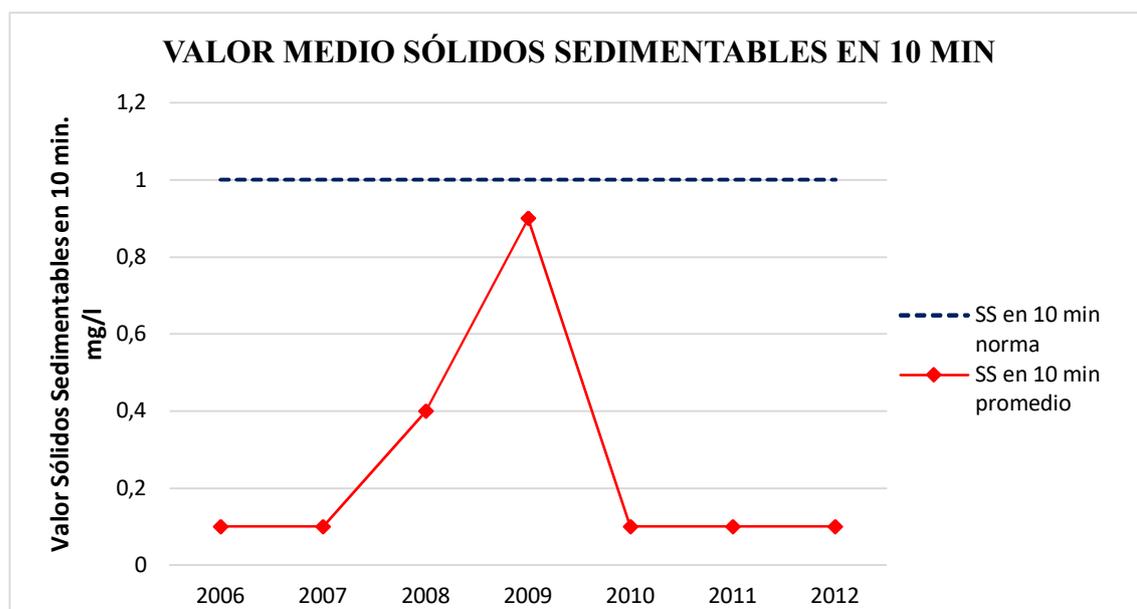


Figura N°5.9: Comportamiento de valor medio de Sólidos Sedimentables en 10 minutos – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.10 se aprecia que la mayoría de los valores medio de Sólidos Sedimentables en 2 hs se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece.

En general, el comportamiento es estable, salvo en el 2009 (1,00 mg/l) donde se observa un incremento en los valores medio, pero siempre dentro del límite permisible.

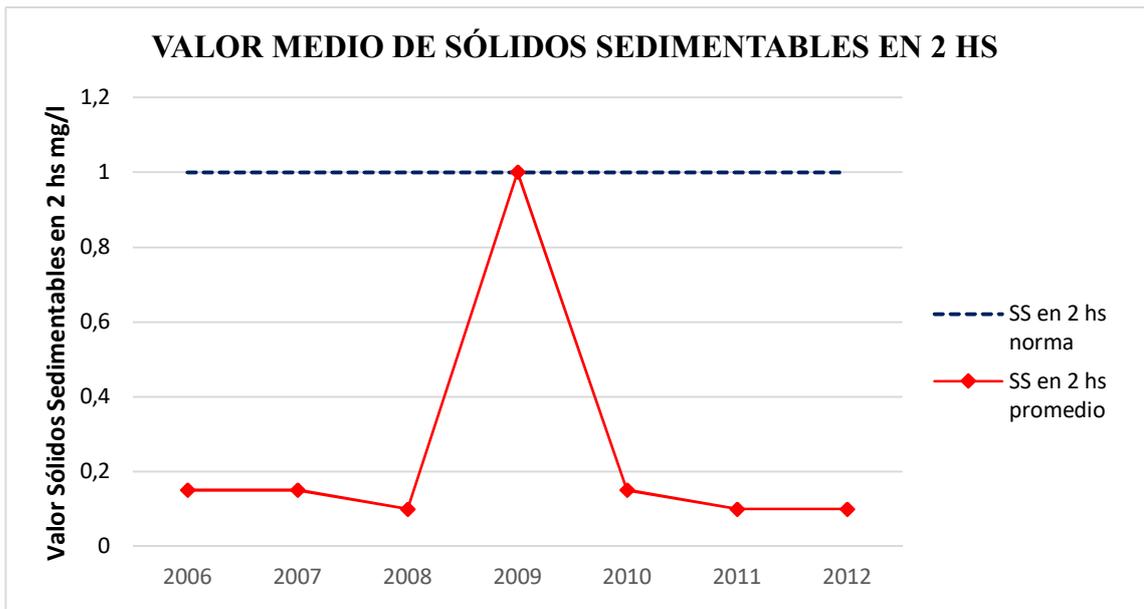


Figura N°5.10: Comportamiento de valor medio de Sólidos Sedimentables en 2 horas – Período 2006 a 2012.

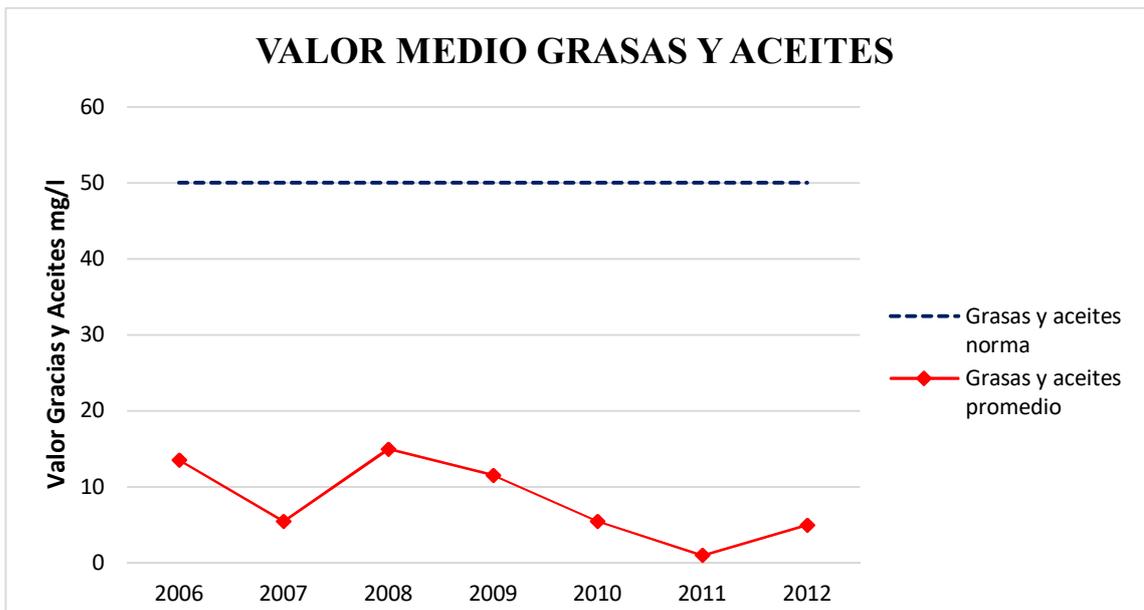


Figura N°5.11: Comportamiento de valor medio de Grasas y Aceites – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.11 se observa ver que todos los valores medios de Grasas y Aceites se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece.

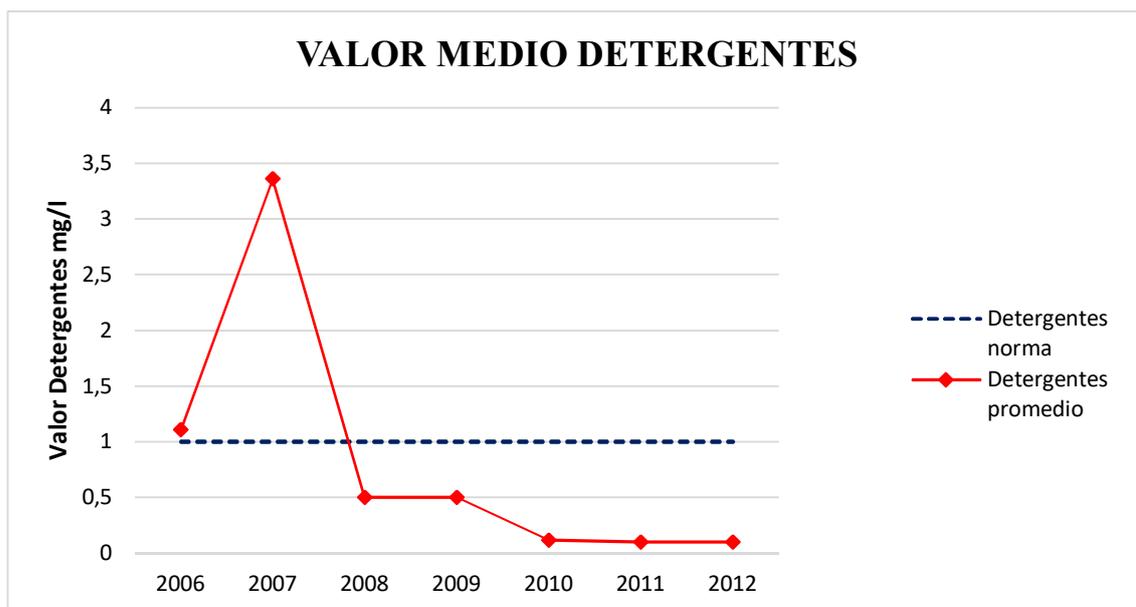


Figura N°5.12: Comportamiento de valor medio de Detergentes – Período 2006 a 2012.

En la Figura N°5.12, se observa que la mayoría de los valores medios de Detergentes se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece. En los años 2006 (1,1 mg/l) y 2007 (3,36 mg/l) los valores medios no se encuentran dentro del límite permisible, especialmente en el año 2007, que experimenta un gran incremento de este parámetro.

En la Figura N°5.13 se observa que todos los valores medios de Hidrocarburos Totales se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece. En los años 2008 (1,00 mg/l) y 2011 (1,00 mg/l) el valor medio de Hidrocarburos Totales tiene una disminución notable.

En la Figura N°5.14 se observa que la mayoría de los valores medios de Coliformes Fecales se encuentran dentro del límite permisible que la normativa establece. Sin embargo, en los años 2006 (10501,50 NMP/100 ml) y 2010 (11537,50 NMP/100 ml) se observa un incremento notable en el valor medio de Coliformes Totales.

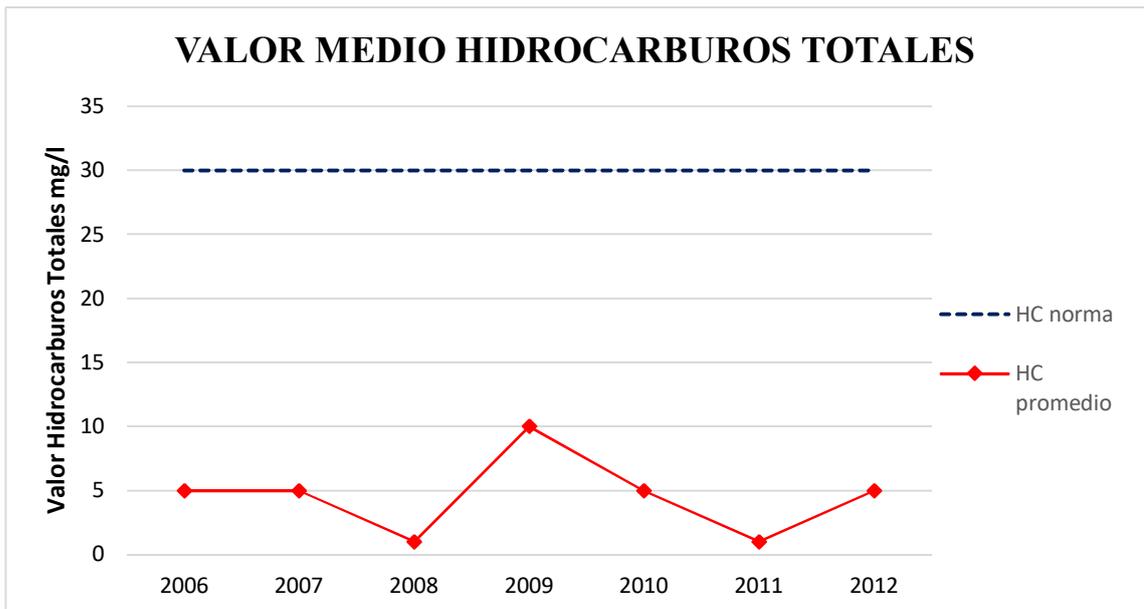


Figura N°5.13: Comportamiento de valor medio de Hidrocarburos Totales – Período 2006 a 2012.

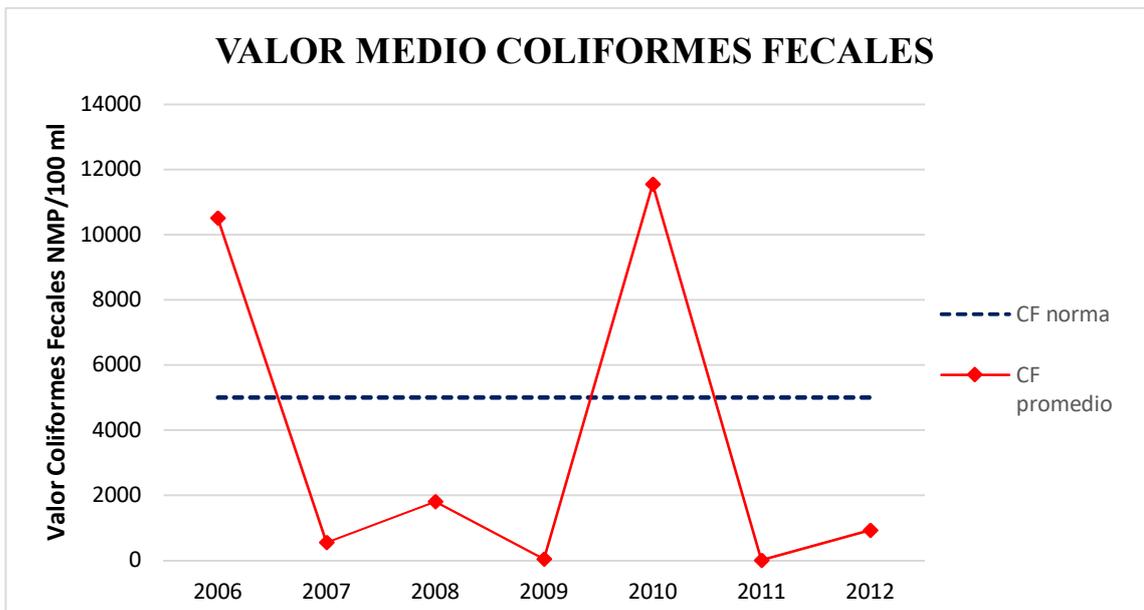


Figura N°5.14: Comportamiento de valor medio de Coliformes Fecales – Período 2006 a 2012.

En la Tabla N°5.3 se observa que los parámetros que no cumplen con los límites permisibles de la normativa son Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total, siendo estos valores el doble del valor del límite permisible.

Tabla N°5.3: Datos de análisis – Años 2006 a 2012

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE	VALORES CONCENTRACIÓN MEDIA
pH		6,5-9,5	7,15
temperatura	°C	45	17
DBO	mg/l	50	28,5
DQO	mg/l	250	97,5
Nitrógeno Total	mg/l	10	28,5
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	3	2,25
Fosforo total	mg/l	1	2,7
Sólidos Sedimentables en 10 min	ml/l	1	0,1
Sólidos Sedimentables en 2 hs	ml/l	1	0,15
Grasas y aceites	mg/l	50	5,5
Detergentes	mg/l	1	0,5
Hidrocarburos Totales	mg/l	30	5
Coliformes fecales	NMP/100ml	5000	915

En el año 2008 se logra obtener un efluente con la calidad exigida para su vertido. En los primeros años de operación se aprecia una calidad menor del efluente, es decir, el producto final tratado no cumplía con los límites exigidos para muchos parámetros.

Los **parámetros pH, Temperatura, DQO, Sólidos Sedimentables en 10 minutos, Sólidos Sedimentables en 2 horas, Grasas y Aceites e Hidrocarburos Totales**, fueron aquellos que se mantuvieron dentro de los límites permisibles exigidos en la normativa correspondiente. Otros parámetros como **Detergentes y Coliformes fecales**, se observan con algunas oscilaciones (valores bajos y altos) durante el período de análisis. La mayoría de estas oscilaciones se deben a problemas de operación, mantenimiento y control de la planta. En el caso del parámetro Coliformes Fecales, los años donde se obtuvieron valores fuera del límite permisible coincidieron con bajas dosis suministradas de cloro en el tratamiento con desinfección. Este problema también se pudo corregir ya que se trataba de un error de operación. En el caso del parámetro Detergentes, los primeros años se obtuvieron valores por encima del límite permisible. Esto se debió fundamentalmente al uso de detergentes que no cumplían con las especificaciones para que las Plantas de Tratamiento pudieran reducir este

contaminante. Se realizaron charlas informativas y distribución de folletos en los campamentos petroleros donde operaban las Plantas.

Estos errores de operación y control se corrigieron y nuevamente se realizaron los análisis de estos parámetros para comprobar su corrección y que los valores se encuentren dentro de los límites permisibles de la normativa.

En el caso del parámetro de **DBO₅**, se observan algunas oscilaciones con valores fuera del límite permisible que coincide con los períodos de años donde la Planta de Tratamiento tuvo baja eficiencia.

En el caso de los parámetros **Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo total**, la mayoría de los valores se encuentran fuera del límite permisible.

Como se observa en la Figura N°5.15, para el parámetro **DBO₅**, en los años 2006 (93,71%) y 2009 (92,55%) (a) se observa una baja eficiencia de depuración de las Plantas de Tratamiento y coinciden con los años en donde el valor del parámetro DBO₅ está por encima del límite permisible (b).

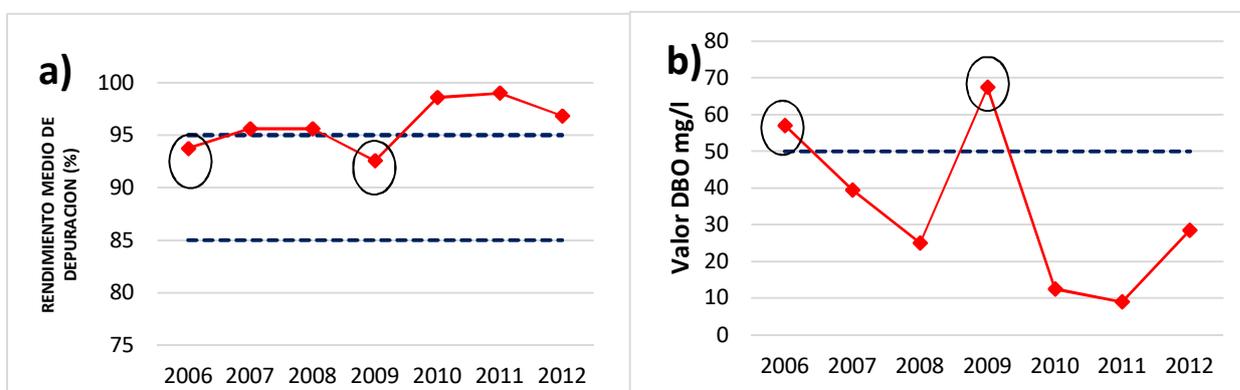


Figura N°5.15: Rendimiento (a) vs. Cumplimiento Normativa (b) – DBO₅

En la Figura N°5.16 se observa, para el parámetro **DQO**, que en el año 2006 la eficiencia es baja (41,69%) y coincide con el valor más alto para el límite permisible establecido en la normativa (b). Si bien este valor (249 mg/L) está al límite, es el valor más alto observado.

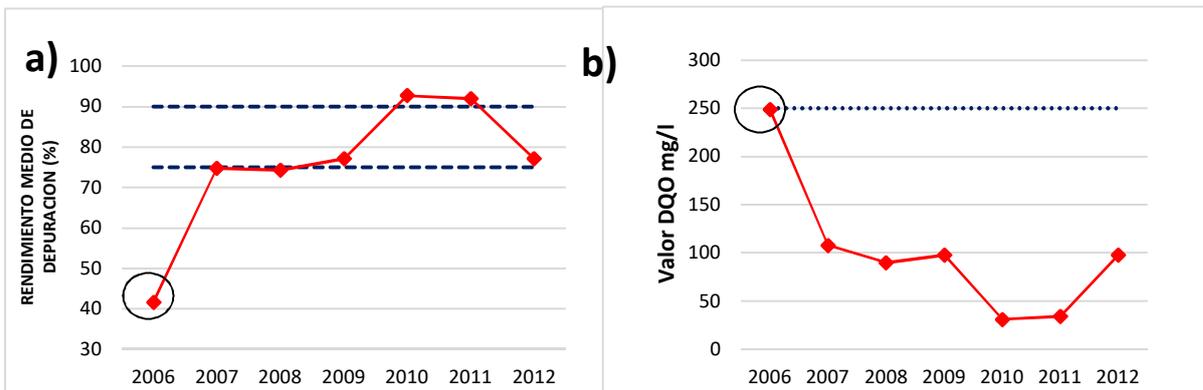


Figura N°5.16: Rendimiento (a) vs. Cumplimiento Normativa (b) – DQO

En el caso de los parámetros Nitrógeno Total y Fósforo Total es diferente el comportamiento de estos valores. La calidad de los efluentes tratados por estas plantas de tratamiento es óptima, salvo que los parámetros Nitrógeno Total y Fósforo Total se encuentran fuera del límite permisible. Esto se explica ya que los límites permisibles establecidos por la normativa corresponden al vertido a cuerpos de agua superficiales, por lo tanto, son más exigentes.

En la figura N°5.17 a) observamos que las Plantas de Tratamiento logran tener una correcta eficiencia en la eliminación del Nitrógeno Total para los años 2008 (94,84%) al 2011 (93,65%). Mientras que en figura N°5.17 b) (valor medio nitrógeno total) se observa que no se cumple con los límites permisibles en la mayoría de los valores. Aunque, en los años 2008 (5 mg/l) y 2011 (8 mg/l) corresponden a los de mayores eficiencias, y se puede observar que son los años que coinciden que cumplen con los límites permisibles de la normativa.

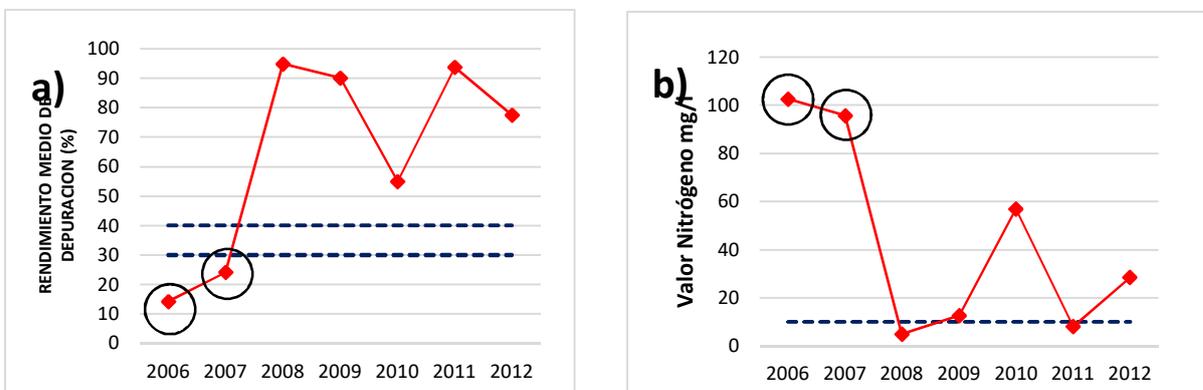


Figura N°5.17: Rendimiento (a) vs. Cumplimiento Normativa (b)– Nitrógeno Total

En la Figura N°5.18 a) observamos que las Plantas de Tratamiento logran tener una correcta eficiencia en la eliminación del Fosforo Total. Mientras que en la Figura N°5.18 b) (valor medio Fosforo Total) se observa que no se cumple con los límites permisibles en la mayoría de los valores. Se observa que para el valor más alto de rendimiento es en el año 2008 (96%) coincide con el valor que cumple con la normativa de vertido.

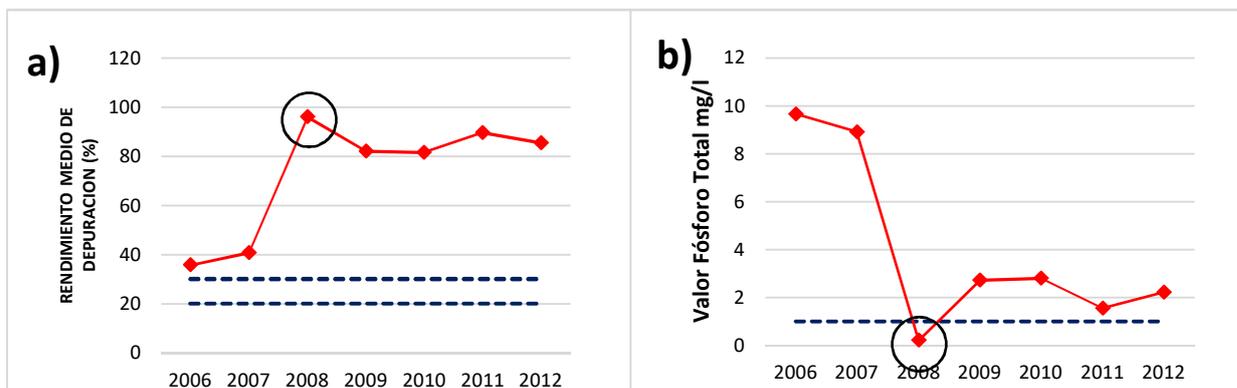


Figura N°5.18: Rendimiento (a) vs. Cumplimiento Normativa (b) – Fósforo Total

La normativa emitida por la autoridad de Aplicación para vertido de efluente tratado se realizó en base a la Ley N°899 “Código de Aguas” y Anexo II del Decreto 799/11, de la Provincia de Neuquén, en el cual se establecen los límites permisibles de los parámetros para vuelco en cuerpos de aguas superficiales. En el periodo de análisis (2006-2012) de los efluentes, en la Provincia de Neuquén **no existía normativa para vertido de efluente tratado en suelo**. Por lo tanto, el cumplimiento para vertido es exigente y con más énfasis para los parámetros Nitrógeno Total y Fósforo Total ya que son elementos principales que generan eutrofización en cuerpos de agua.

La eutrofización es el proceso de enriquecimiento del agua por nutrientes, especialmente compuestos de nitrógeno y fósforo que aceleran el crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los cuerpos de agua receptores, generando residuos orgánicos que, al descomponerse, consumen gran parte del oxígeno disuelto y de esta manera pueden afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora.

La Normativa aplicada exigía ciertos niveles guías de Nitrógeno Total y Fósforo Total para vuelco en cuerpos de aguas superficiales, sin embargo, durante el periodo de operación de las Plantas Modulares Móviles los efluentes tratados eran vertidos sobre suelos.

Capítulo 6: REUTILIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE NORMAS APLICABLES.

6.1. Resultados comparación normativa de reúso

Durante el periodo de análisis de los efluentes residuales tratados (2006-2012), se midieron los siguientes parámetros (Tabla N°6.1) en coincidencia con aquellos que recomiendan las Autoridades de Aplicación:

Tabla N°6.1: Parámetros analizados

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES
pH	
temperatura	°C
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Nitrógeno Total	mg/l
Nitrógeno Amoniacal	mg/l
Fosforo total	mg/l
Sólidos Sedimentables en 10 min	ml/l
Sólidos Sedimentables en 2 hs	ml/l
Grasas y aceites	mg/l
Detergentes	mg/l
Hidrocarburos Totales	mg/l
Coliformes fecales	NMP/100ml

Al momento de los análisis realizados a las plantas de tratamiento (2006 a 2012) no existía en la provincia de Neuquén una normativa que regulara el vertido de efluentes residuales domésticos tratados sobre suelo, se tomaban los valores para vuelco a cuerpos receptores de agua superficial.

Se elaboró una matriz con las normativas y guías de reutilización de efluentes más importantes para este trabajo. Ver Anexo D.

De la matriz (Anexo D) de normativas y guías para reutilización de efluente tratado, y comparándolo con la normativa de la Dir. Pcial. Recursos Hídricos aplicada para el control de los efluentes tratados mediante las Plantas Modulares Móviles se enuncian las siguientes observaciones.

En las normativas y guías citadas se contemplan otros parámetros que no se midieron en los análisis de efluentes de las Plantas Modulares Móviles ya que en la normativa (Dir. Pcial.

Recursos Hídricos) vigente durante el período de análisis no lo exigían. Esta normativa es para el vertido del efluente tratado en cuerpos de aguas superficiales.

Del análisis de la normativa aplicada durante los años 2006 a 2012, se obtuvieron que los valores de Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total se encontraban por encima de los límites permisibles establecidos. A continuación, se compararán estos parámetros con las normativas de reutilización de aguas residuales.

La Resolución 709/11 de la Provincia de Neuquén, establece para el Nitrógeno Total un valor de 50 mg/l y para el Fósforo Total un límite de 0,5 mg/l, aunque tiene una nota que estipula que la “Cantidad tan pequeña como sea posible en las cuencas de lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutrofización, de ser necesario se fijará la carga total diaria en kg/día de fósforo total, nitrógeno total y nitrógeno de amonio” (Resolución 709/11 Calidad del efluente – EPAS).

Con respecto a la Resolución N°776/96 ANEXO I d) de la Provincia de Mendoza, los límites de Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total se determinan según afectación al acuífero.

En la Resolución 885/15 ANEXO 5 y D de la Provincia de Río Negro, se establecen como límites permisibles para el Nitrógeno Total de 30 mg/l, Nitrógeno Amoniacal 10 mg/l y para el Fósforo Total de 5 mg/l.

La Resolución 336/03 ANEXO II de la Provincias de Buenos Aires, se establecen como valores límites permisibles para el Nitrógeno Total de 105 mg/l, Nitrógeno Amoniacal 75 mg/l y para el Fosforo Total de 10 mg/l, aunque estos límites serán exigidos en las descargas a lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutrofización.

La Ordenanza 6301/06 ANEXO II de la Ciudad de Puerto Madryn, se establece que los límites para Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total quedan a determinar por la Autoridad de Aplicación, según el uso que se le dé al efluente, estableciéndose valores para cada caso en particular.

La norma de la USEPA para el riego de árboles y parques con acceso a público prohibido o infrecuente, no se establecen límites permisibles para Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total.

En la guía de la OMS de recomendaciones para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público, no establece límites permisibles para Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total.

En cuanto al control de los parámetros Nitrógeno Total y Fosforo Total en los efluentes tratados para su reutilización, algunas normativas establecen valores, otras se fijan límites según afectación al acuífero o medio, o serán exigidos en caso de lagos, lagunas u otro cuerpo de agua favorables a procesos de eutrofización, mientras que en la Norma de la EPA y Guías de la OMS no se establecen valores.

El límite permisible para Nitrógeno Total que se establece en la normativa utilizada en el estudio es menor (10 mg/l) comparada con las normativas anteriores, que son específicas para reutilización de aguas residuales mientras que la normativa de Recursos Hídricos es para vertido sobre cuerpos de agua superficiales.

El límite permisible para Fósforo Total que se establece en la normativa utilizada en el estudio es menor (1 mg/l) comparada con las normativas anteriores, que son específicas para reutilización de aguas residuales mientras que la normativa de Recursos Hídricos es para vertido sobre cuerpos de agua superficiales.

El límite permisible para Nitrógeno Amoniacal que se establece en la normativa utilizada en el estudio es menor (3 mg/l) comparada con las normativas anteriores, que son específicas para reutilización de aguas residuales mientras que la normativa de Recursos Hídricos es para vertido sobre cuerpos de agua superficiales.

La Normativa de Mendoza, pionera en el tema de reutilización de efluentes, posee una resolución específica para evaluar la calidad de los efluentes cloacales tratados, y es una normativa muy amplia en el análisis contemplando diversos parámetros de interés para la reutilización. La provincia ha desarrollado un complejo normativo amplio que determina calidad de efluentes y categorías de reutilización de los efluentes cloacales en las ACRE. Las resoluciones y ordenanzas de las provincias de Río Negro, Buenos Aires y Chubut también cuentan con un amplio análisis de diversos parámetros de interés para la reutilización de efluentes.

En cuanto a las normas de la EPA y guías de la OMS, se observa el hincapié que se hace en cuanto al control de Coliformes Fecales. Los documentos de la OMS enfatizan en la protección de la salud de la población y se controlan principalmente los agentes patógenos,

mientras que las normativas de la EPA controlan los parámetros pH, DBO y Coliformes Fecales.

Hay una gran cantidad de textos y publicaciones que mencionan las propiedades beneficiosas de las aguas residuales cuando son utilizadas para el riego de los cultivos (US EPA, 1981; US EPA, 1992; Moscoso Cavallini, J., 1999). El uso de aguas residuales presenta beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas por el aporte de materia orgánica, macronutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y oligoelementos, como Sodio (Na) y Potasio (K), permitiendo reducir, y en algunos casos eliminar la necesidad del uso de fertilizantes químicos (Silva, J. et al; 2008).

En un estudio titulado “Impactos agroeconómico del riego con efluentes domésticos tratados en cultivos de ajo y cebolla”; se determinó que el rendimiento medio de estos cultivos regados con efluente doméstico tratado aumentó, con respecto al rendimiento medio del cultivo regado con agua de la perforación sin agregado de fertilizante, un 19% y 15% respectivamente debido al potencial fertilizante de los efluentes. La materia orgánica contenida en suelos de textura franco limosa regados durante 4 años con efluente doméstico tratado aumentó en un 11% con respecto a los suelos regados con agua de perforación sin agregado de fertilizante (Fasciolo, G. et al., 2013).

Los impactos de la aplicación de aguas residuales en suelo son tanto positivos por la eficiencia en el uso del recurso, y negativos desde el punto de vista de la calidad del agua subterránea. Se señala que, si el contenido de nitrógeno en las aguas residuales es alto, la aplicación de las mismas al suelo puede producir contaminación del agua subterránea con nitratos y amonios. En un estudio realizado (Álvarez, A. et. al., 2008) en plantación de ajos regados con efluentes residuales tratados, se evaluó el impacto de un sistema de aprovechamiento de efluentes domésticos para riego en la calidad del agua subterránea. Se concluye que el acuífero profundo no es alcanzado por nitratos ni nitritos productos de la degradación biológica de la materia orgánica del efluente.

La combinación del desarrollo de prácticas productivas inadecuadas realizadas en ecosistemas áridos y semiáridos que constituyen ambientes frágiles, producen riesgo de erosión sobre los suelos y, en condiciones extremas de escasez de lluvias, finalizan en procesos de desertización disminuyendo la posibilidad de desarrollo para dichas regiones. En la región Patagónica, donde se presentan indicios de desertificación graves, la aplicación de lodos y aguas residuales en suelos aumentarían la disponibilidad de fósforo y nitrógeno, disminuirían

la necesidad de fertilización inorgánica y mejorarían la estructura, aireación y capacidad de almacenamiento de agua (Semenas, L. et al; 1999).

En el año 2000, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá y la Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud (OPS-OMS) elaboraron el documento *Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial*, cuyo objetivo general fue estudiar las experiencias de América Latina en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su uso sanitario en agricultura urbana, para recomendar estrategias de diseño e implementación de estos sistemas integrados e identificar nuevas oportunidades. Los estudios de caso mostraron que el uso de las aguas residuales está orientado principalmente, al riego de cultivos que se procesan antes de su consumo como maíz y arroz, en otros casos a hortalizas, vegetales y frutos que se consumen crudos y en menor medida a forrajes y algunos cultivos industriales como algodón y árboles maderables. En la mayoría de los casos, el agua residual es la única fuente de abastecimiento y se aplica a los campos mayormente mediante riego por inundación.

Uno de los objetivos del estudio de esta tesis es comprobar que el efluente es apto para la reutilización, principalmente para riego de especies forestales y autóctonas de la zona, teniendo en cuenta que es una práctica conocida y con una serie de beneficios. El efluente tratado proveniente de las Plantas Modulares Móviles, resultaría viable para su utilización de riego para especies forestales ya que las plantas captarían el nitrógeno y el fósforo (donde sus niveles están fuera del límite permisible) del agua residual aplicada. Como citamos en párrafos anteriores, la calidad del efluente era óptima para el vertido en cuerpo superficiales de agua, aunque los parámetros nitrógeno total y fosforo total no se encuadraban dentro de los límites permisibles en todos los años.

La aplicación de efluentes tratados en las plantaciones forestales se ha convertido en una alternativa popular de la reutilización del agua debido a que no forma parte de la cadena alimentaria; proporciona una imagen verde y una barrera de viento; suministra Nitrógeno y Carbono de almacenamiento en la biomasa (principalmente madera).

Las mayores experiencias de riego forestal se han realizado en Pennsylvania y Michigan, Estados Unidos, donde se han regado bosques artificiales con efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (Sopper y Kardos 1963; Sutherland et al., 1974). El riego sobre los bosques, sobre todo en el eucalipto (*Eucalyptus . sp*) y el pino (*Pinus plantaciones. sp*) se ha practicado ampliamente en Australia y Nueva Zelanda. También se destaca la experiencia

de Enköping (Suecia), un pueblo de 20.000 habitantes que recicla el agua de su planta de tratamiento. Las aguas residuales ricas en nitrógeno son usadas para regar 75 hectáreas forestadas con sauces, con una densidad de 15.000 plantas por hectárea. La madera producida se cosecha cada dos o tres años y es utilizada por la planta energética local, que abastece el 50% de la demanda de energía eléctrica y el 100% de la calefacción de la localidad. De este total, el 20% se cubre con los biocombustibles provenientes de los sauces de la plantación regada con aguas residuales tratadas (Romagnoli, S. y Thomas, E.; 2010).

En América Latina, las dos principales experiencias forestales regadas con aguas residuales por gravedad se encuentran en el Proyecto del Lago Texcoco en el Valle de México y en el entorno ecológico de San Juan de Miraflores al sur de Lima, Perú.

Las principales experiencias en reutilización de aguas residuales tratadas en Argentina se presentan en la Provincia de Mendoza, que lo aplica para riego agrícola de 15.000 hectáreas (Campo Espejo, Palmira, Rivadavia y San Martín), y en Villa Nueva, en la Provincia de Córdoba, destinado al riego hortícola, florícola y forestal. Actualmente la reutilización en Argentina atraviesa un período de expansión para riego y para otras actividades. En la zona existen experiencia de reutilización de efluentes tratados para riego de especies salicáceas (sauces y álamos), en Rincón de los Sauces, Provincia de Neuquén (Romagnoli, S. y Thomas, E.; 2010). Otras experiencias se han realizado en Plaza Huincul y Puerto Madryn.

El análisis de la normativa existente sobre el tema (Reutilización de efluentes) para este estudio ha sido detallado haciendo hincapié en normas nacionales y guías y normativas internacionales. Actualmente son diversos y hasta heterogéneos los criterios de calidad establecidos en los países o regiones que tienen regulada la actividad de reutilización de agua residual.

En la Provincia de Neuquén, no existe una reglamentación que incluya los criterios mínimos de calidad que debe cumplir el agua residual para reutilización.

Basado en las recomendaciones y conclusiones de múltiples estudios y reuniones de expertos, así como en la disponibilidad real de tecnologías por los países subdesarrollados, la OMS reafirmó en 2006 las directrices que habían sido recomendadas en 1989. Estos criterios de calidad microbiológica son más accesibles de cumplir, sobre todo, para los países en vías de desarrollo que son los que más necesitan fuentes de agua para sus agriculturas, con el empleo de tecnologías de tratamiento sencillas y de bajo costo. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental recomienda una normativa a nivel federal sobre la reutilización de

aguas residuales para uso agrícola, para aquellos estados que no han desarrollado su propia regulación.

De acuerdo a un estudio realizado en Chile (Universidad de Chile; 2005), se establecieron luego de análisis con normativas, los niveles de tratamiento requeridos en función del tipo de cultivo, como se muestra en la Tabla N°6.2.

Tabla N°6.2: Requerimiento de Calidad para Reúso de Efluentes Tratados en Riego.

	USOS				
	Riego Forestal	Riego Cultivos Restringidos	Riego Cultivos Limitados	Riego todos los Cultivos y Productos	Recarga acuíferos
Remoción DBO y DQO	X	X	XX	XXX	XXX
Remoción Nutrientes	---	---	---	---	XXX
Remoción Patógenos	X	X	XX	XXX	XXX
Remoción Metales y Orgánicos Traza	X	X	XX	XXX	XXXX
Cloro residual desinfección	---	---	XX	XXX	XX
Remoción SS y turbiedad	X	X	XX	XXX	XXX
Remoción Sabor y Olor	X	X	X	XX	XXX
Remoción Salinidad	O	O	X	X	---

--- No es necesario

0 No es esencial

X Necesidad Leve

XX Necesidad Moderada

XXX Fuerte Necesidad

XXXX Requerimiento Estricto

6.2. Reutilización de aguas residuales

Un aspecto fundamental en las políticas actuales de protección ambiental es la obtención de sociedades cerradas (Closed Cycle Society) en las cuales las sustancias circulan y son reutilizadas para preservar los recursos disponibles (Semenas, L. *et al.*, 1999). La utilización de efluentes domiciliarios es un modo de incorporar un importante producto residual en el ciclo urbano – rural sin involucrar riesgos apreciables a largo plazo e implica, además, una intervención activa del hombre en el cuidado del medio ambiente.

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea; la distribución desigual del recurso hídrico y los graves periodos de sequía; han estimulado el desarrollo significativo en los programas de reutilización de aguas residuales en los últimos 20 años. En muchas áreas del mundo que se enfrentan a la escasez del agua, principalmente de zonas áridas y semiáridas, el uso de aguas residuales recuperadas

es una práctica habitual que en los últimos años han tenido un incremento notable, convirtiéndose en un recurso valioso para su uso en la agricultura, procesos industriales y en servicios al público. En la Tabla N°6.3, se muestran los posibles tipos de reutilización.

La reutilización constituye un recurso alternativo que asegura la sostenibilidad, reduce la contaminación medioambiental y protege la salud pública. Además, este recurso hídrico alternativo representa una forma de conseguir que los recursos convencionales se puedan dedicar a cubrir aquellas demandas que exigen una calidad más elevada del agua.

Los principales factores para el desarrollo de reutilización del agua residual en todo el mundo son (EPA, 2004):

- El aumento de la demanda de agua para sostener el crecimiento industrial y poblacional.
- La escasez y la sequía de agua, especialmente en las regiones áridas y semiáridas.
- Protección del medio ambiente y la mejora en combinación con las necesidades de gestión de aguas residuales.
- Los factores socioeconómicos, tales como nuevas regulaciones, los problemas de salud, las políticas públicas y los incentivos económicos son cada vez más importantes para la implementación de proyectos de reutilización de agua.
- Protección de la salud pública y la mitigación de riesgos ambientales son componentes claves de cualquier programa de reutilización en estas condiciones.

El agua residual tratada para su reutilización debe reunir una determinada calidad la cual está definida según la actividad en la que se va a utilizar o por la normativa encargada de regular su aprovechamiento. Por lo tanto, el generar y utilizar agua residual tratada tiene un costo, que involucra su tratamiento y su conducción al sitio de reutilización (Escalante, V. *et al.*, 2002).

Los beneficios directos que proporciona la reutilización de aguas residuales son:

- La captación de nutrientes presentes en el efluente cloacal para destinarlo como fertilizante en suelos para la producción agropecuaria.
- Evitar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales debido al vertimiento directo de las aguas residuales en ríos, lagos o mares.
- Conservar o emplear de manera más racional los recursos de agua dulce, sobre todo en zonas áridas y semiáridas.

- Luchar contra la desertificación y recuperar zonas áridas mediante el riego y la fertilización de bosques.
- Mejorar las zonas recreativas de las ciudades, mediante el riego y la fertilización de espacios verdes (parques, campos deportivos).

Tabla N°6.3: Reutilización de las aguas residuales.

CATEGORÍAS DE REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	POSIBLES LIMITACIONES
Riego en agricultura Riego de cultivos Plantaciones comerciales	Si la gestión no es adecuada, contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Comercialización de las cosechas y aceptación pública.
Riego de espacios verdes Parques Pacios de colegios Medianas de autopistas Campos de golf Cementerios Zonas verdes Zonas residenciales	Efecto de la calidad del agua sobre el suelo y las cosechas (especialmente las sales). Problemas de salud pública relacionados con la presencia de patógenos (bacterias, virus y parásitos) Control de la zona de utilización, incluidos los espacios de amortiguamiento, puede implicar elevados costes para los usuarios.
Reciclaje y reutilización industrial Refrigeración Calderas Agua de proceso Construcciones pesadas	Presencia de constituyentes que pueden provocar problemas de corrosión, incrustaciones carbonatadas, crecimientos bacterianos y ensuciamiento. Problemas de salud pública, especialmente la transmisión de patógenos por aerosoles en el agua de refrigeración.
Recarga de aguas subterráneas Recarga de acuíferos Control de intrusión de aguas saladas Control de subsidencias	Compuestos químicos orgánicos presentes en el agua recuperada y sus efectos tóxicos. Presencia de sólidos disueltos, nitratos y patógenos.
Usos recreativos/ambientales Lagos y estanques Mejora de zonas pantanosas Incremento de los caudales de los cursos de agua Piscifactorías Fabricación de nieve artificial	Problemas de salud pública relacionados con bacterias y virus. Eutrofización debido a la incorporación de N y P a las aguas receptoras. Toxicidad a la vida acuática.
Usos urbanos no potables Protección contra incendios Aire acondicionado Lavabos	Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos en aerosoles. Efecto de la calidad del agua sobre la formación de costras carbonatadas, corrosión, crecimientos biológicos y fallos en los sistemas. Conexiones cruzadas.
Reutilización en usos potables Mezcla en depósitos de agua de abastecimiento Abastecimiento de agua directo	Presencia de constituyentes tales como los compuestos químicos orgánicos de trazas y sus efectos tóxicos. Estética y aceptación pública. Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos, especialmente virus.

Fuente: Metcalf&Eddi.

Las aplicaciones más frecuentes de reutilización de aguas residuales se hacen en el riego de cultivos, bosques, jardines, campos de golf, en el reabastecimiento del agua subterránea, entre otros. El riego es la actividad que más consume agua en el mundo (Manga, J. *et al*, 2001).

El uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura está muy propagado en todo el mundo, siendo la agricultura el mayor usuario de agua, lo que representa aproximadamente el 80 por ciento de la demanda mundial. Por ejemplo, en la India hay varios centenares de sistemas de riego con aguas residuales, que cubren una superficie de cerca de 73.000 hectáreas. Sin embargo, solo un número pequeño de sistemas de riego en el mundo se ha diseñado y realizado de tal forma que confiera la debida protección de la salud de trabajadores y consumidores. En la mayoría se emplean aguas residuales en estado bruto o sometidas a tratamiento mínimo y se hace poco o nada por proteger la salud (OMS, 1989).

Naciones Unidas ha estimado que en agricultura al menos 20 millones de hectáreas en 50 países son regadas con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente, diluidas o no, lo que representa alrededor del 10% del total de las tierras de regadío. Alrededor de 525.000 hectáreas son regadas con agua regenerada (FAO, 2013).

El aprovechamiento de los efluentes tratados para riego de cultivos y de las zonas verdes del sector urbano se ha ampliado mucho en Australia, América Latina, Norte de África, España y otros países del Mediterráneo, así como en los EE UU. En algunos países como Arabia Saudita, Israel, Jordania y Perú, la política gubernamental se centra en el aprovechamiento de todos los efluentes de las plantas de tratamiento, sobre todo para riego de cultivos.

La reutilización del agua puede inducir cambios significativos en el uso de la tierra, ya sea directa o indirectamente. Cambios directos incluyen los cambios en la vegetación o a los ecosistemas. Cambios indirectos incluyen alteraciones asociadas con el desarrollo industrial, residencial, u otro hecho posible por el suministro adicional de agua reutilizada (EPA, 2004).

6.3. Problemas relativos a la Salud Pública

A pesar de las ventajas económicas y ecológicas asociadas con la reutilización de aguas residuales, la cuestión clave sigue siendo la seguridad de la salud pública. La reutilización de aguas residuales sin tratar, siendo ampliamente practicado en varias regiones de China, India, Marruecos, Egipto, Pakistán, Nepal, Vietnam y la mayor parte de América del Sur, conduce a enfermedades entéricas, helmintiasis y epidemias peligrosas. Además de los riesgos a la salud pública, el efluente tratado parcialmente también puede tener efectos perjudiciales sobre el medio ambiente como es la contaminación de las aguas subterráneas.

Las principales restricciones para la utilización de efluentes no tratados son:

- El contenido de elementos pesados;
- El contenido de orgánicos traza;
- La presencia de patógenos.

La última restricción comprende el control de virus (adenovirus, rotavirus, virus de hepatitis, etc.), bacterias (*Salmonella*, *Shigella*, etc.), protozoos (*Amoeba*, *Giardia*, *Cryptosporidium*) y helmintos (*Taenia*, *Hymenolepis*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Enterobius*, *Ancylostoma*). Actualmente se estima que existen alrededor de 30 enfermedades que pueden ser transmitidas por el uso de efluentes domiciliarios (Semenas, L. *et al*, 1999).

Uno de los objetivos más importantes en cualquier programa de reutilización es asegurar que la protección de la salud pública no se vea comprometida por el uso de agua tratada. La protección de la salud pública se logra a través de: reducir o eliminar las concentraciones de patógenos bacterias, parásitos y virus entéricos en el agua regenerada, el control de los componentes químicos en el agua tratada, y / o limitar la exposición del público (contacto, inhalación, ingestión) de agua tratada.

Dado que la utilización de agua residual tiene un impacto, no sólo en términos de salud pública, sino en aspectos sociales, culturales, normativos y económicos; entidades como la Organización Mundial para la Salud -OMS, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA, el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos -HABITAT, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación -FAO y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente -CEPIS; han enfocado sus esfuerzos para investigar acerca del potencial de reutilización del agua, generando guías, lineamientos y proyectos. La organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que el principal riesgo en el empleo de agua residual para riego agrícola es la diseminación de parásitos.

Un problema que puede crear el riego con aguas residuales es la acumulación de materiales tóxicos o de salinidad en el suelo. Su concentración en el suelo aumentara con el tiempo y, después de muchos años de riego, los cultivos pueden absorber esos contaminantes en concentraciones toxicas para el hombre.

Una de las fuentes más conocidas de potencial de contaminación en agua subterránea es el nitrato, que se puede encontrar por el resultado de la aplicación de agua regenerada. En general, estas preocupaciones aumentan cuando hay significativos vertidos de aguas residuales

industriales a las instalaciones de regeneración de agua, por lo tanto, se requiere un programa de monitoreo de aguas subterráneas para detectar los impactos.

En la Tabla N°6.4, se muestran agentes patógenos o sustancias químicas en el agua y consecuencias.

Tabla N°6.4: Agentes patógenos o sustancias químicas transmitidas por el agua que afectan la salud, presentes en las aguas residuales.

Categoría de contaminantes	Ejemplos específicos	Consecuencias
Agentes patógenos relacionados con excrementos	Bacterias Helmintos Protozoos Virus	Enfermedades humanas (infección directa o indirecta)
Agentes irritantes de la piel	No determinado, pero probablemente mezclas de sustancias químicas y agentes microbianos	Dermatitis por contacto
Agentes patógenos transmitidos por vectores	<i>Plasmodium</i> spp. <i>Wuchereria bancrofti</i>	Enfermedades humanas
Sustancias químicas	Metales pesados Compuestos orgánicos Compuestos inorgánicos	Enfermedad humana aguda o crónica (contacto directo o indirecto a través de los alimentos)

Fuente: Adaptado de la Organización Mundial de la Salud, 2006.

Los componentes presentes en las aguas residuales, que pueden limitar su uso en riego, son los siguientes (Viso Rodríguez, A.; 2005):

Sólidos en suspensión: Su acumulación da lugar a depósitos de lodos que generan condiciones anaeróbicas en el suelo, pudiendo, además, provocar obturación en sistemas de riego localizados.

Materia orgánica biodegradable: Las proteínas, carbohidratos y grasas generan unas necesidades de oxígeno disuelto, medidas como DBO₅ o DQO (Demanda bioquímica y química de oxígeno), cuya no satisfacción da lugar al desarrollo de condiciones sépticas.

Patógenos: La presencia de virus (enterovirus, adenovirus, rotavirus), bacterias (coliformes, etc.), protozoos o helmintos de origen humano y su posible transmisión a través de los productos cultivados puede ser origen de diversas enfermedades.

Nutrientes: Los nutrientes como nitrógeno, fósforo o potasio esenciales para el desarrollo vegetal, enriquecen las aguas para riego, pero una carga excesiva puede provocar efectos nocivos para el terreno y/o las aguas subterráneas.

Materia orgánica no biodegradable: Determinados productos tóxicos no degradables por los sistemas de tratamientos, tales como fenoles, pesticidas y organoclorados, pueden limitar el uso en riego.

pH: El pH del agua afecta la solubilidad de los metales y pueden alterar el equilibrio del suelo.

Metales pesados: Los vertidos industriales, sobre todo, pueden aportar al agua metales como cadmio, mercurio, cinc y otros, cuya presencia reduce la aplicabilidad para riego de las aguas residuales por sus efectos tóxicos para los cultivos y la salud.

Conductividad eléctrica: Una excesiva salinidad derivada de la presencia de iones Na, Ca, Mg, Cl, ó B, puede producir daños a los cultivos y provocar problemas de permeabilidad en el suelo.

Cloro residual: Concentraciones de radicales de cloro libre mayores que 0,5 mg/l, limitan la aplicación del agua a cultivos sensibles.

La reutilización del agua requiere un estudio profundo de planificación de la infraestructura y de los recursos, emplazamiento de la planta de tratamiento, la fiabilidad del tratamiento, el análisis económico y financiero, y una gestión del uso del agua que suponga una integración del agua recuperada con otro tipo de agua no recuperada. En la Figura N°6.1 se muestra el esquema de aprovechamiento de las aguas residuales, propuesto por la OMS.

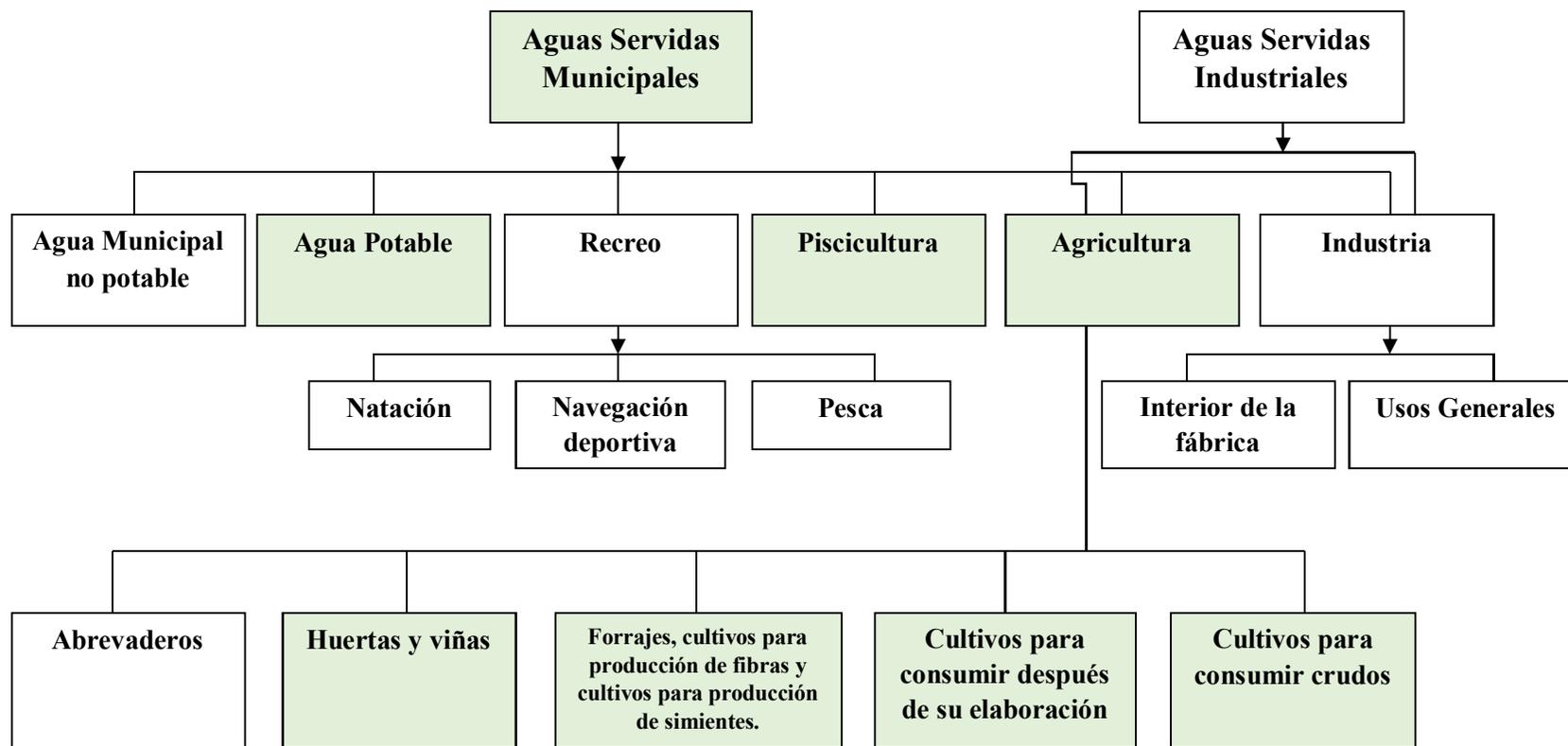


Figura N°6.1: Esquema de aprovechamiento deliberado de Aguas Residuales (OMS, 1989)

6.4. Situación en América Latina y Argentina

América Latina es una de las regiones con mayor concentración de población en áreas urbanas, las que albergan a más de 360 millones de habitantes. El crecimiento explosivo de las ciudades ha generado una acelerada y desorganizada urbanización de tierras de cultivo y ha obligado a darle prioridad al uso de las aguas superficiales para consumo humano y la industria. Consecuentemente, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto afectada y se ha optado por el uso de aguas residuales como alternativa. Esto se refleja en la existencia de más de 500.000 hectáreas agrícolas irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar (OMS, 1989). Si bien la mayoría de las aguas residuales sin tratar se usan en riego, casi el 90% del agua residual en los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento alguno a los cuerpos hídricos.

En América Latina el máximo nivel de tratamiento de agua residual implementado es el nivel secundario, esto debido principalmente a los costos y criterios de vertido establecidos en la legislación de cada país (Jaramillo Ll, M., 2006).

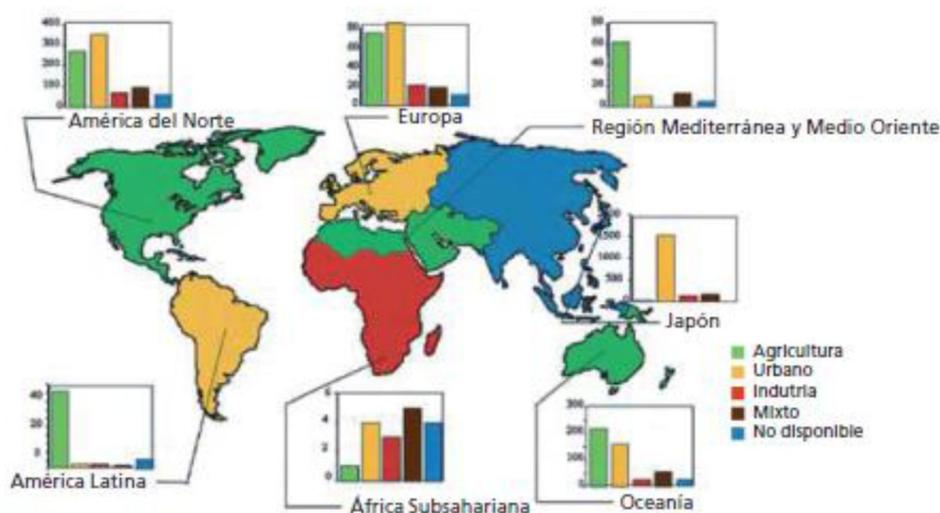


Figura N°6.2: Reutilización de aguas municipales (AQUAREC, 2006).

En la **Figura N°6.2** se observa que América del Sur destina la gran parte de sus aguas residuales domésticas (ya sean tratadas o no) a usos en agricultura.

El Valle Mezquital, en la alta meseta mexicana representa el área más grande del mundo irrigada con aguas residuales. Presenta un ejemplo único de la irrigación con aguas residuales debido a su inmensa área cultivada (83.000 hectáreas) y su historia de casi 100

años. Estas aguas residuales no han recibido ningún tratamiento convencional y son transportadas por canales. Se irrigan cultivos de alfalfa, maíz, habas, avena, tomate, ají y remolacha (Jaramillo, M. F., 2010).

Brasil es uno de los países con diversas experiencias de utilización de agua residual, no sólo en agricultura sino en uso urbano e industrial. La estación experimental *Jesús Netto*, ocupa un área de 12.300 m² y trata 60 l/s de efluentes sanitarios por medio de dos sistemas de tratamiento que operan en paralelo, uno por lodos activados y el otro por reactor anaerobio de flujo ascendente. Su permanencia a lo largo del tiempo muestra la viabilidad técnica de este tipo de aplicaciones.

Una de las experiencias más sobresalientes en Latinoamérica acerca de evaluación de potencial de la reutilización de agua residual en la agricultura, fue el proyecto “*Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial*”, desarrollado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente -CEPIS en convenio con el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo –IDRC y Organización Panamericana para la Salud -OPS. Este proyecto consistió en estudiar las experiencias en tratamientos de agua residual doméstica y su uso en la agricultura urbana con el fin de recomendar estrategias de diseño e implementación. Dichas recomendaciones proponen un modelo de sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales domésticas para producción agrícola, priorizando la remoción de patógenos para proteger la salud pública. En la tercera etapa del proyecto se realizaron estudios de viabilidad en países como: Guatemala, Perú, Venezuela, Costa Rica, Colombia y Brasil (Moscoso Cavallini, J.C., 2002).

Las prácticas actuales de uso de aguas residuales en países en desarrollo incluyen comúnmente el uso de aguas residuales diluidas, aunque por lo general no documentada, que implica grandes riesgos para la salud de la población consumidora de productos alimenticios crudos regados con esta agua (Silva, J. *et al*, 2008).

La Organización Panamericana de la Salud señaló que en 1998 menos del 14% de los 600 m³/s de aguas residuales domiciliarias colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares, solo el 6% tenía un tratamiento aceptable. A esto se agrega que un 40% de la población urbana de la Región contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua, por lo que este problema demanda urgente atención.

En la Región se han identificado como principales países a México con alrededor de 350.000 hectáreas, Chile con 16.000 hectáreas, Perú con 6.600 hectáreas y Argentina con 3.700 hectáreas. Los estudios mostraron que el uso de las aguas residuales está orientado principalmente, al riego de cultivos que se procesan antes de su consumo como maíz y arroz, en otros casos a hortalizas, vegetales y frutos que se consumen crudos y en menor medida a forrajes y algunos cultivos industriales como algodón y árboles maderables (Veliz Lorenzo, E. et al., 2009), como se muestra en la Tabla N°6.5.

Tabla N°6.5: Principales cultivos empleados para reutilización de aguas residuales domésticas*.

Cultivos regados con agua residual	Área (ha)	Caudal (L.s⁻¹)
Forestales	97	99
Frutales	46,776	40
Industriales	391,418	1,473
Forrajes	6,943	1,172
Hortalizas	48,691	1,511
Otros	806	696
Total	494,727	4991

*Países incluidos: Argentina, Colombia, México, Nicaragua, Perú y República Dominicana.
Fuente: Adaptada de Cepis, 2003.

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

6.4.1. Argentina

Argentina no tiene un marco legal que establezca las condiciones mínimas requeridas, así como las políticas de promoción para el desarrollo de esta actividad; sin embargo, existen experiencias de reutilización de aguas residuales, especialmente en actividades de carácter productivo; a excepción de la provincia de Mendoza, que cuenta con una arquitectura institucional y jurídica compleja en materia de gestión de agua y utilización de las aguas residuales.

Las diversidades de ambientes del país van desde zonas con reiterados eventos de inundaciones a otras que sufren recurrentes ciclos de sequía. Este panorama se agrava si se analiza la irregular distribución poblacional de la Argentina, con un 90% de población urbana, de la que un 75% se localiza sobre la Cuenca del Plata y sus sub-cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay. En este caso, la recuperación y reutilización de agua se convierte en una estrategia desde la perspectiva medioambiental, con el objetivo de disminuir la carga contaminante sobre los cuerpos receptores finales.

El 75% del territorio argentino tiene estas condiciones de vulnerabilidad. En estas regiones, entre otras medidas, es necesario contar con políticas que incentiven un mayor aprovechamiento del agua y la preservación de estos ambientes que presentan un alto grado de fragilidad. La posibilidad de contar con tecnologías que permitan la reutilización del agua tratada, especialmente derivada de los asentamientos urbanos, potencia el desarrollo de actividades productivas alternativas en diferentes escalas.

En Argentina, cada provincia tiene legislación propia para la gestión del agua; en distintas regiones, la gestión de los recursos hídricos se ha desarrollado con modalidades y arreglos institucionales diferentes, que dan cuenta de la relación de las comunidades con su ambiente y en particular las prácticas productivas y culturales que han construido, para abordar la problemática de la gestión del agua. Esta diversidad regional en la Argentina, en relación a la distribución y calidad de sus recursos hídricos, como a la localización de las actividades productivas y de los asentamientos urbanos, exige un complejo normativo flexible que articule jurídicamente entre las normas nacionales y las normas provinciales con jurisdicción a los recursos naturales y con desarrollo diferente en materia de política del agua.

Con relación al tratamiento de aguas residuales, la OPS estimó en 1999 que en el país sólo se procesaba aproximadamente el 12% del total de los líquidos colectados. En 2011, según un informe, el porcentaje de tratamiento se elevaba a 35%.

El informe Aquastat, muestra que en 2011 se produjeron 3,8 km³ de aguas residuales, de las cuales se trataron el 35% (1,3 km³) y un 7% de estas aguas tratadas se usaron de manera directa.

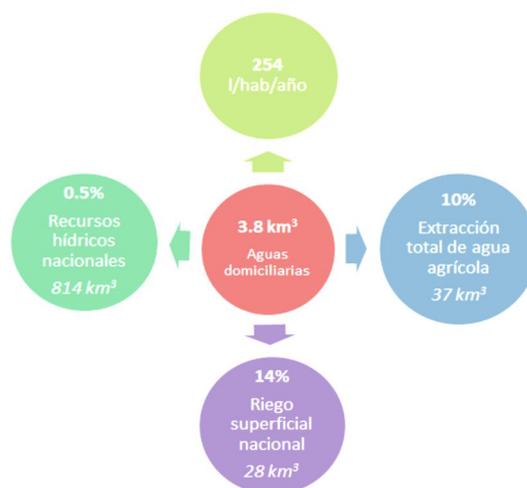


Figura N°6.3: Comparación de la producción de agua residual con los recursos hídricos a nivel nacional.

Tabla N°6.6: Cálculo de las hectáreas potencialmente regables con la producción anual de aguas residuales (3.8 km³)

Cultivo	Superficie nacional cosechada 2012/13 (ha)	Riego complementario necesario (m ³ /ha/año) *	Cobertura potencial de agua residual (%)
Arroz	232.700	11.000	148
Girasol	1.620.081	2.100	112
Maíz	4.863.801	1.900	41
Soja	19.418.825	3.120	6
Trigo	3.019.403	3.040	41
*Necesidades hídricas tomadas del estudio Potencial de Ampliación del Riego en el Nordeste de la Argentina.			

Fuente: Aquastat, 2006.

Con respecto a la reutilización de las aguas residuales, la provincia de Mendoza es pionera, y desde el año 1996 se le ha dado forma legal a la reutilización de aguas residuales tratadas mediante la definición de los parámetros mínimos de calidad de los efluentes tanto domésticos como industriales. Con el objeto de regularizar esta situación y de avanzar en la prevención y tratamiento de la contaminación hídrica a través del “vuelco cero”, el organismo responsable del saneamiento básico inició en 1991 un programa que integraba el tratamiento de los efluentes y su posterior reutilización para riego, respetando las directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Aquí nacieron los denominados **ACRES** (Áreas de Cultivos Restringidos) controlados por el Departamento General de Irrigación quedando absolutamente prohibido que estas aguas fueran derramadas o conducidas fuera de los límites de las ACRE o liberadas a su

uso irrestricto. En otras provincias con características áridas y semiáridas se están llevando a cabo iniciativas similares. No se han encontrado datos disponibles sobre superficie regada a nivel nacional con uso directo de aguas residuales, solamente en el caso de Mendoza, que en 2011 tenía 15.000 hectáreas regadas con aguas residuales. En Campo Espejo se trata un volumen de 140.000 m³ /día, a través de un sistema de series de lagunas facultativas. La calidad de las aguas residuales permite realizar la reutilización directa, el que se implementa a través de un convenio entre la empresa operadora, el Departamento General de Irrigación y los regantes de la zona. Se riegan aproximadamente 2.000 hectáreas correspondientes a 100 explotaciones, en las que se cultiva vid, hortalizas y forestales. En la planta de Paramillo se trata un volumen de 91.000 m³ /día. El 70% de las aguas residuales tratadas son utilizadas para reutilización indirecta, tras ser volcadas al río Mendoza para su posterior distribución por los canales de riego de un área de 18.000 hectáreas; las restantes (21.000 m³) son destinadas a la reutilización directa para el riego en tres explotaciones agropecuarias que cultivan de vid, hortalizas, forrajes y forestales (Barbeito Anzorena, E., 2001).

Actualmente la reutilización en Argentina atraviesa un período de expansión para riego y para otras actividades. Las principales experiencias en reutilización de aguas residuales se presentan en la Provincia de Mendoza, que lo aplica para riego agrícola de 15.000 hectáreas (Campo Espejo, Palmira, Rivadavia y San Martín), en las localidades de Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia, Chubut, con fines forestales. En Villa Nueva, Córdoba, donde se las destina para riego hortícola, florícola y forestal. También es interesante el caso de Corrientes, donde se está haciendo acuicultura y compostaje con los barros. Existen proyectos de reutilización para riego en La Rioja (Barbeito Anzorena, E., 2001).

Es de suma importancia conocer el uso final que tendrá el efluente tratado para de esta manera poder controlar su calidad mediante las normativas correspondientes. En consecuencia, podría minimizarse el impacto ambiental y sobre la salud pública.

Capítulo 7: NORMATIVA DE REUTILIZACIÓN

7.1. Normativa

Uno de los aspectos más importantes en la reutilización de aguas residuales son los requisitos mínimos de calidad que deben tener las mismas, para garantizar el uso de este recurso de manera segura sin generar un impacto a la salud pública y medio ambiente.

A nivel internacional se han establecidos directrices, que sirvieron para que varios países desarrollaran las reglamentaciones en materia de reutilización de aguas residuales.

Desde la Reunión de Expertos celebrada en 1971, la OMS ha reconocido la creciente importancia del aprovechamiento de aguas residuales, sobre todo en agricultura, y la necesidad de disponer de mecanismos de protección de la salud en esos casos. Se señaló que las aguas residuales se habían venido empleando en riego, de forma directa o indirecta, por un gran número de años en muchos países, sin ningún tratamiento. Desde el punto de vista sanitario, ninguna forma de utilización se consideró aceptable. Sin embargo, en ese entonces existía poca información autorizada sobre los efectos sanitarios del aprovechamiento de aguas residuales para guiar a los expertos que, en consecuencia, fueron precavidos al formular sus recomendaciones (OMS, 1989).

En los años sesenta y setenta, las normas establecidas eran en general muy estrictas, ya que se han basado en evaluación teórica de los posibles riesgos que para la salud tiene la supervivencia de agentes patógenos en las aguas residuales, el suelo y los cultivos, más que en pruebas epidemiológicas fehacientes del riesgo real. Estas primeras normas se basaron en un concepto de *riesgo nulo*, con el fin de lograr un medio *antiséptico* o carente de agentes patógenos. Por ejemplo, las normas del Departamento de Salud Pública del Estado de California - 1978 (una de las primeras establecidas y más estrictas. Ver Tabla N°7.1) permiten un total de sólo 2,2 o 2,3 coliformes fecales por cada 100 ml, según la aplicación de reutilización (cultivos que se consumen crudos o no, parques públicos, cementerios, etc.) y el método de riego empleado (aspersores, inundación, etc.).

Tabla N° 7.1: Parámetros de calidad microbiológica y criterios para el riego en el Estado de California (1978).

Aplicación	Técnica de riego	Coliformes fecales o totales ^b	Requisitos de tratamiento de las aguas residuales
Cultivos de especies comestibles	Por aspersión	<2,2/100 ml ^a	Tratamiento secundario, coagulación, clarificación, filtración y desinfección.
Cultivos de especies comestibles	En superficie	<2,2/100 ml ^a	Tratamiento secundario y desinfección.
Árboles, frutales y viñas	En superficie	Sin límite	Tratamiento primario
Cultivos forrajeros, producción de fibras y semillas	En superficie o por aspersión	Sin límite	Tratamiento primario
Pastos para especies productoras de leche	En superficie o por aspersión	<23/100 ml ^a	Tratamiento secundario y desinfección.
Campos de golf, cementerios, zonas ajardinadas con autopistas y otras áreas de acceso público similar.	En superficie o por aspersión	<23/100 ml ^{a, c}	Tratamiento secundario y desinfección.
Parques, jardines públicos, campos y patios de recreo escolares y otras áreas públicas similares.	En superficie o por aspersión	<2,2/100 ml ^a	Tratamiento secundario, coagulación, clarificación, filtración y desinfección.

^a la directriz de California para la reutilización de aguas residuales se expresa como el número medio del total de coliformes por cada 100 cm³, determinado a partir de los resultados bacteriológicos correspondientes a los 7 últimos días en los que se realiza el análisis. ^b La concentración de coliformes no debe exceder de 23 por 100 cm³ en más de una muestra en periodos de 30 días. ^c La concentración de coliformes no debe exceder de 240 en 100 cm³ en más de una muestra en periodos de 30 días.

En 1981, el Grupo de Expertos de la OMS en Aprovechamiento de Efluentes reconoció que las normas extremadamente estrictas fijadas en California no tenían justificación en las pruebas epidemiológicas existentes. Desde entonces, organismos internacionales de prestigio y muchas instituciones académicas de todo el mundo han hecho un gran esfuerzo por establecer una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales.

Las comprobaciones de esos estudios fueron analizadas por destacados expertos en salud pública, medio ambiente y epidemiólogos en las reuniones de Engelberg en 1985, Adelboden en 1987 e Hyderabad en 2002, y en numerosas reuniones y consultas nacionales e internacionales. El consenso de los expertos se centra en que el riesgo real es mucho menor de lo previsto y que no se justifica que hayan sido tan restrictivas las primeras normas sobre la calidad microbiológica de los efluentes empleados en riego.

En el informe de Engelberg se recomendaron nuevas directrices que contienen normas menos estrictas para los coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas para los huevos de helmintos (de las especies *ascaris*, *trichuris* y *anquilostomas*) que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo real para la salud humana proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas, como es el caso de muchos países en desarrollo. En ellos se establece a los organismos Coliformes fecales y a los huevos de helmintos, como indicadores de la calidad microbiológica del agua. Los criterios para riego irrestricto se basan en dos condiciones: a) que la media aritmética para el número de huevos de helmintos sea ≤ 1 /litro y b) que la media geométrica para Coliformes fecales sea ≤ 1000 /100ml. Se recomienda también que el tratamiento para alcanzar dicha calidad microbiológica sea en estanques o lagunas de estabilización. Estos criterios, representan condiciones menos exigentes que la normativa y recomendaciones que se utilizan en los Estados Unidos.

En 1989, un Grupo Científico de la OMS formuló nuevas directrices sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura (Tabla N° 7.2).

Con posterioridad a la publicación de las directrices de la OMS en 1989, un grupo de reconocidos investigadores realizó una evaluación de los criterios relacionados con los nematodos intestinales, utilizando información de estudios epidemiológicos y microbiológicos, en la que se recomendaron mayores niveles de calidad microbiológica de los efluentes para riego irrestricto y restringido. En la misma se concluyó que para proteger la familia del consumidor, especialmente a los niños, se necesita que la concentración de helmintos en el efluente sea $\leq 0,5$ huevos /litro. Para proteger a los agricultores y sus familias contra la transmisión de infecciones bacterianas y virales se recomienda incluir un límite de número de Coliformes fecales de ≤ 10.000 /100ml para el caso de riego restringido, para el cual no se especificaba ningún valor.

Tabla N°7.2: Parámetros de calidad microbiológica recomendados para la utilización de aguas residuales en agricultura¹ (OMS, 1989).

Categoría	Reutilización aplicada a	Grupos expuestos	Nemátodos intestinales ^a (media aritmética del número de huevos viables por litro ^b)	Coliformes fecales (media geométrica del número de coliformes por cada 100 ml ^b)	Tratamiento de aguas residuales Para alcanzar la calidad microbiológica requerida
A	Riego de cultivos de productos que se consumen probablemente sin cocinar, de campos de deporte y de parques públicos.	Trabajadores, consumidores y público.	≤1	1000 °	Una serie de estanques de estabilización para alcanzar la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales y especies industriales, forrajes, pastos y árboles ^d	Trabajadores.	≤1	Sin estándares recomendados	Retención en estanques de estabilización durante 8-10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riegos localizados de cultivos de categoría B cuando no hay exposición de público y trabajadores	Ninguno.	No aplicable	No aplicable	Pre-tratamiento como o exija la tecnología de riego pero nunca menor que una sedimentación primaria.

^a *Ascaris*, *trichuris* y anquilostomas. ^b Durante el periodo de riego. ^c Cuando los productos comestibles se consumen siempre cocinados, esta recomendación puede ser menos crítica. ^d En el caso de árboles, frutales, el riego debe interrumpirse dos semanas antes de la recogida del fruto y no debe recogerse ningún fruto del suelo. No debe utilizarse riego por aspersión.

En general puede decirse que hay dos tendencias principales: a) la de exigir un mínimo de microorganismos indicadores de patógenos, aunque implique altos costos, como es el caso de las normas de **USEPA** y b) la de fijar un riesgo aceptable, en lugar de exigir riesgo cero y complementar con buenas prácticas, como es el caso de las recomendaciones de **OMS**.

Para proteger la salud pública, se han realizado considerables esfuerzos en orden a establecer unas condiciones y normas que permitan el uso seguro de las aguas residuales recuperadas. Aunque no exista ninguna serie estándar uniforme, se ha podido disponer de normas internacionales, nacionales y estatales sobre las aguas residuales (O.M.S., 1989; U.S. EPA, 1992; California, 1978).

7.2. Normas de calidad vigentes

Basado en las recomendaciones y conclusiones de múltiples estudios y reuniones de expertos, así como en la disponibilidad real de tecnologías por los países subdesarrollados, la OMS reafirmó en 2006 las directrices que habían sido recomendadas en 1989. Estos criterios de calidad microbiológica son más accesibles de cumplir, sobre todo, para los países en vías de desarrollo que son los que más necesitan fuentes de agua para sus agriculturas, con el empleo de tecnologías de tratamiento sencillas y de bajo costo.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental recomienda una normativa a nivel federal sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola, para aquellos estados que no han desarrollado su propia regulación (TABLA N°7.3). Las recomendaciones son muy estrictas, y define una calidad de agua para el riego de cultivos comestibles no procesados comercialmente, similar a la calidad del agua potable, lo que implica la utilización de procesos de tratamientos muy eficientes y específicos.

Tabla N°7.3: Normativa de la Agencia de protección ambiental (EE. UU) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola.

TIPO DE REUTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	CALIDAD	DISTANCIA DE SEGURIDAD
Riego de cultivos comestibles no procesados comercialmente	Secundario Filtración Desinfección	pH= 6-9 < 10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	15 m a Fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de cultivos que se consumen procesados.	Secundario Desinfección	pH= 6-9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	A 90 m a Fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de pastos de animales productores de leche y cultivos industriales.	Secundario Desinfección	pH= 6-9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	A 90 m a Fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad.
SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

Las guías de la OMS (1989) no tienen normas para la vigilancia, por tanto, se propone considerar su diseño, basados en objetivos de salud y consejos de medidas de protección de la salud, consideraciones que fueron tomadas en cuenta en la nueva guía de

aguas residuales publicada por la OMS en el año 2006. Estas nuevas guías de uso de aguas residuales, excretas y aguas grises, son una herramienta de manejo preventivo de aguas residuales en agricultura para maximizar la seguridad para la salud pública. Tienen como objetivo principal apoyar la formulación de normatividad y reglamentación nacional respecto al uso y manejo del agua residual, considerando aspectos propios de cada país. La guía incluye el análisis microbiano, esencial para el análisis del riesgo, que comprende la recolección de información relativa a patógenos presentes en aguas residuales, campos y cosechas regados. Estos factores varían según la región, clima, estación, etc. y deben ser medidos siempre que sea posible, sobre un sitio específico. La guía no da valores sugeridos para patógenos virales, bacteriales o protozoarios, únicamente valores para huevos de helmintos ($\leq 1/L$) tanto para riego con restricción o sin ella; para el riego por goteo en cultivos de alto crecimiento, no da recomendación alguna. A través de un análisis cuantitativo del riesgo microbiano se puede lograr la remoción de patógenos requerida para no superar el riesgo aceptable por infección. Adicionalmente, se incluyen las medidas de control para la protección de la salud (TABLA N°7.4).

Tabla N°7.4: Medidas de control de protección a la salud.

Medidas de control	Remoción de patógenos (unidades log)	Comentarios
Tratamientos	1-6	La remoción de patógenos requerida depende de la combinación selectiva de medidas de control para la protección de la salud.
Riego por goteo en cultivos de bajo crecimiento	2	Tubérculos y hortalizas, como lechuga, que crecen justo sobre el suelo con contacto parcial.
Riego por goteo en cultivos de alto crecimiento	4	Cultivos en los que las partes a cosechar no están en contacto con el suelo, como tomates.
Inactivación de patógenos por decaimiento	0.5-2 por día	Es la reducción del número de patógenos por decaimiento que ocurre entre el último riego y el consumidor final. La meta en la remoción de unidades log depende de condiciones climáticas (temperatura, intensidad solar), tipo de cultivo, etc.
Lavado con agua	1	Lavado de hortalizas, vegetales y frutas con agua limpia.
Desinfección	2	Lavado de hortalizas, vegetales y frutas con una solución diluida de desinfectante y enjuague con agua limpia.
Pelado	2	Frutas y tubérculos.

Fuente: (World Health Organization, 2006)

Los objetivos sanitarios utilizados por la OMS aplican un nivel de referencia de riesgo aceptable [*por ej.*, 10^{-6} Año de Vida Ajustado por Discapacidad (AVAD)]. El AVAD es un indicador cuantitativo de “carga de enfermedad” y refleja la cantidad total de vida saludable que se pierde, es decir, la calidad de vida que se reduce debido a una

discapacidad, o tiempo de vida que se pierde debido a una mortalidad prematura. Dependiendo de las circunstancias, existen varias medidas posibles de protección de la salud (barreras), que incluyen el tratamiento de desechos, restricción de cultivos, adaptación de técnicas de riego y tiempo de aplicación y control de la exposición humana. El tratamiento parcial según una norma menos exigente puede ser suficiente si se combina con otras medidas de reducción de riesgos para lograr el objetivo de $\leq 10^{-6}$ AVAD por persona y año (ó 1 de cada 100 000).

La Figura N°7.1 muestra las opciones para la reducción de agentes patógenos tales como virus, bacterias y protozoos, mediante diversas combinaciones de medidas de protección sanitarias que permiten alcanzar el objetivo sanitario de $\leq 10^{-6}$ AVAD por persona anualmente en el agua reciclada que se utiliza para el riego (OMS, 2006). El riesgo principal observado proviene de los helmintos en países en desarrollo en que las aguas servidas se utilizan sin tratamiento o con un tratamiento mínimo.

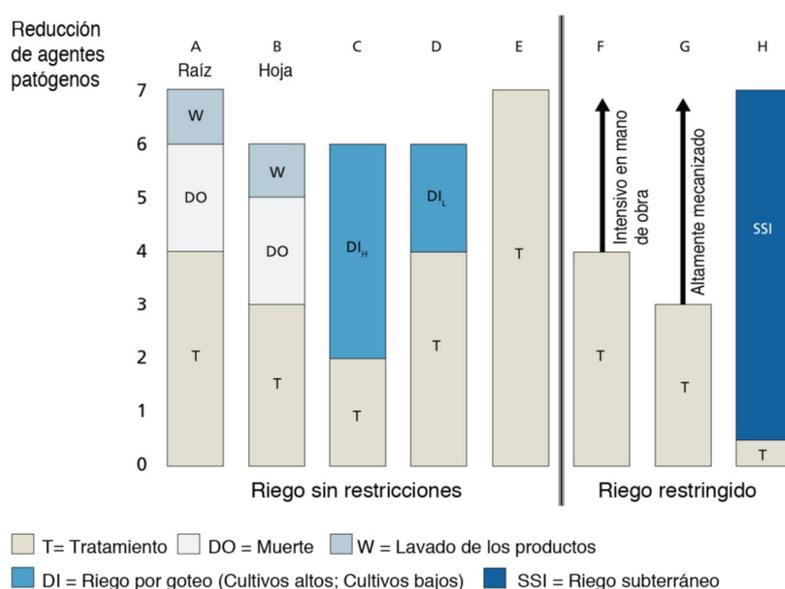


Figura N°7.1: Opciones para la reducción de agentes patógenos (OMS, 2006).

Asimismo, se desarrollaron otros lineamientos para el uso de agua residual en la agricultura. En el año 1999 la FAO publicó la guía sugerida para el “*uso de aguas tratadas en el riego agrícola y sus requerimientos de tratamiento*”, en ella se clasifica el tipo de reutilización agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan

comercialmente, que se consumen y se procesan comercialmente, y, cultivos que no se consumen (TABLA N°7.5).

Tabla N°7.5: Guías sugeridas para las aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento

Tipo de reúso agrícola	Tratamiento	Calidad
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	Secundario Filtración - Desinfección	pH=6,5-8,4 DBO < 10 mg/L < 2 UNT < 14 NMP Coli Fecal / 100 mg/l < 1 Huevo/l
Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	Secundario - Desinfección	pH=6,5-8,4 DBO < 30 mg/L SS < 30 mg/L < 200 NMP Coli Fecal / 100 mg/l
Reúso agrícola en cultivos que no se consumen	Secundario - Desinfección	pH=6,5-8,4 DBO < 30 mg/L SS < 30 mg/L < 200 NMP Coli Fecal / 100 mg/l

Fuente: (FAO, 1999)

La FAO también estableció las directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego, las cuales relacionan el grado de restricción de uso del agua de acuerdo con los parámetros de salinidad, infiltración y toxicidad de los iones específicos (TABLA N°7.6). Previa a esta directriz, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos desarrolló la clasificación de agua para riego basada en la conductividad y la adsorción de sodio. Ambas Normas se refieren a los efectos a largo plazo de la calidad del agua sobre la producción del cultivo y las condiciones del suelo.

Tabla N°7.6: Directrices para interpretar la calidad de las aguas de riego

Problema potencial		Unidades	Grado de restricción de uso			
			Ninguno	Moderado	Severo	
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua para el cultivo)						
Conductividad eléctrica		dS-m ⁻¹	< 0.7	0.7 – 3.0	>3.0	
Sólidos suspendidos totales		mg-l ⁻¹	< 450	450-2000	>2000	
Infiltración (evaluar usando a la vez CE y RAS)						
Relación adsorción / sodio (RAS)	0-3	Conductividad eléctrica (CE)	dS-m ⁻¹	>0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6		dS-m ⁻¹	>1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12		dS-m ⁻¹	>1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20		dS-m ⁻¹	>2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40		dS-m ⁻¹	>5.0	5.0-2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)						
Sodio (Na)						
Riego por superficie		RAS	<3	3-9	>9	
Riego por aspersión		meq-L ⁻¹	<3	>3		
Cloro (Cl)						
Riego por superficie		meq-L ⁻¹	<4	4-10	>10	
Riego por aspersión		meq-L ⁻¹	<3	>3		
Boro (B)		mg-L ⁻¹	<0.7	0.7-3.0	>3.0	
Varios (afectan cultivos sensibles)						
Nitrogeno (N-NO ₃) ⁻		mg-L ⁻¹	<5	5-30	<30	
Bicarbonato (HCO ₃)						
Aspersión foliar únicamente		mg-L ⁻¹	<1.5	1.5-8.5	>8.5	
pH				Rango normal 6.5-8.4		

Fuente: (Ayers R y Wescot D, 1987)

Las principales guías que regulan la reutilización son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), sobre calidad microbiológica de aguas residuales para irrigación, clasificadas en tres categorías, según sus niveles de parásitos y coliformes fecales, indicadores de la presencia de patógenos (virus, bacterias, protozoos y helmintos) en las aguas residuales domesticas; y las fisicoquímicas para calidad de las aguas de riego de la FAO (1999).

La Agencia estadounidense de Protección Ambiental (EPA) clasifico la reutilización en ocho categorías (Tabla N°7.7), de acuerdo con la calidad del agua: urbano, áreas de acceso restringido, agrícola para cultivos consumidos crudos y para cultivos no consumidos crudos, recreacional, industrial, recarga de acuíferos y reutilización indirecta potable (EPA, 2004; Metcalf y Eddy, 2003).

Tabla N°7.7: Guías sugeridas para reutilización de aguas ¹ (tratamiento de aguas residuales sugerido, la calidad del agua regenerada, monitoreo y distancias para varios tipos de reutilización del agua).

TIPOS DE REUTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	CALIDAD DEL AGUA REGENERADA ₂	MONITOREO DEL AGUA REGENERADA	DISTANCIAS DE PRECAUCIÓN ₃
Reutilización Urbana todos los tipos de riego de campos (por ej., campos de golf, parques, cementerios)- También lavados de auto, baños, sistemas de protección contra incendios y aires acondicionados, y otros con similares accesos o exposición al agua.	Secundario ⁴ Filtración ⁵ Desinfección ⁶	pH = 6-9 < 10 mg/l BOD ⁷ < 2 NTU ⁸ No detectable coliforme fecal ^{9,10} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente Turbidez – continuo Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	15 m de pozos de suministro de agua potable
Riego de áreas con acceso restringido. Area de césped y silvicultura otras áreas donde el acceso público está prohibido, restringido o infrecuente.	Secundario Desinfección	pH = 6-9 ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	90 m de pozos de suministro de agua potable 30 m de áreas de acceso al público (si es irrigación por spray)
Reutilización agrícola-cultivos comestibles no procesados comercialmente ¹⁵ Riego superficial o por spray de cualquier cultivo, incluyendo cultivos que se consumen crudos.	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6-9 ≤10 mg/l BOD ⁷ ≤ 2 NTU ⁸ No detectable coliforme fecal ^{9,10} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	15 m de pozos de suministro de agua potable
Reutilización agrícola-cultivos comestibles procesados ¹⁵ comercialmente. Riego superficial o por spray de huertos y viñedos.	Secundario Desinfección	pH = 6-9 ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	90 m de pozos de suministro de agua potable 30 m de áreas de acceso al público (si es irrigación por spray)
Reutilización agrícola-cultivos no comestibles.	Secundario Desinfección	pH = 6-9 ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14}	pH – semanalmente DBO – semanalmente TSS – diariamente	90 m de pozos de suministro de agua potable 30 m de áreas de acceso al público

Pastos para los animales de ordeño y forraje, fibra, y cultivos de semillas		1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	Coliformes diariamente Cl ₂ residual continuo	- - -	(si es irrigación por spray)
Embalses recreativos Contacto incidental (por ejemplo, la pesca y canotaje) y el contacto del cuerpo con agua regenerada.	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6-9 ≤10 mg/l BOD ⁷ ≤ 2 NTU ⁸ No detectable coliforme fecal ^{9,10} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente Turbidez – continuo Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	- - - - - -	150 m de pozos de suministro de agua potable (mínimo)
Embalses Paisajísticos Embalses donde el contacto con público de agua regenerada no está permitido	Secundario Desinfección	≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente TSS – diariamente diariamente Cl ₂ residual - continuo	- - - -	150 m de pozos de suministro de agua potable (mínimo)
Uso en construcción Compactación de suelo, control de polvo, fabricación de concreto.	Secundario Desinfección	≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	- - - - -	
Reutilización Industrial Una vez a través de enfriamiento. Recirculación en torres de enfriamiento	Secundario Desinfección Secundario Desinfección (coagulación química y filtración son necesarias)	pH = 6-9 ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹ Variable depende del radio de circulación pH = 6-9 ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14} 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹	pH – semanalmente DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	- - - - - -	90 m de áreas de acceso al público
Reutilización ambiental Humedales, pantanos, hábitats vida silvestres, aumento de flujo.	Variable Secundario y Desinfección (mínima)	Variable, pero no debe exceder: ≤30 mg/l DBO ⁷ ≤30 mg/l SST ≤ 200 CF/100 ml ^{9,13,14}	DBO – semanalmente TSS – diariamente Coliformes – diariamente Cl ₂ residual - continuo	- - - -	
Recarga de agua subterránea Por medio de esparcimiento o inyección de acuíferos no usados para suministro de agua potable	Sitio específico y uso dependiente Primario (mínimo) para esparcimiento Secundario (mínimo) para inyección	Sitio específico y uso dependiente	Depende del tratamiento y uso		Sitio específico

Reutilización potable indirecta Recarga de agua subterránea por esparcimiento dentro de acuíferos potables	Secundario Desinfección También necesita filtración y/o tratamiento avanzado del agua residual	Secundario Desinfección Conocer los estándares de agua potable después de la percolación a través de zona vadosa	Incluye, pero no limitado a, el siguiente: pH-diariamente Coliformes-diariamente Cl ₂ residual – continuo Estándares de agua potable-trimestral Otros ¹⁷ -depende del constituyente Turbidez-continuo	150 m de pozos de extracción. Depende de el tratamiento y las condiciones del sitio específico
Reutilización potable indirecta Recarga de agua subterránea por inyección dentro de acuíferos potables	Secundario Filtración Desinfección tratamiento avanzado del agua residual	Incluye, pero no limitado a, el siguiente: pH = 6.5 -8.5 ≤2 NTU ⁸ No detectable Coliforme fecal 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹ ≤ 3 mg/l COT ≤ 0.2 mg/l TOX Conocer los estándares de agua potable	Incluye, pero no limitado a, el siguiente: pH-diariamente Total Coliformes-diariamente Cl ₂ residual – continuo Estándares de agua potable-trimestral Otros ¹⁷ -depende del constituyente Turbidez-continuo	600 m de pozos de extracción. Depende de las condiciones del sitio específico
Reutilización potable indirecta Aumento de suministros superficiales	Secundario Filtración Desinfección Tratamiento avanzado del agua residual ¹⁶	Incluye, pero no limitado a, el siguiente: pH = 6.5 -8.5 ≤2 NTU ⁸ No detectable Coliforme fecal 1 mg/l Cl ₂ residual (mínimo) ¹¹ ≤ 3 mg/l COT Conocer los estándares de agua potable	Incluye, pero no limitado a, el siguiente: pH-diariamente Coliformes totales-diariamente Cl ₂ residual – continuo Estándares de agua potable-trimestral Otros-depende del constituyente Turbidez-continuo	Sitio específico

REFERENCIAS TABLA N°7.7:

1. Estas guías están basadas en agua regenerada y prácticas de reutilización en Estados Unidos, y son especialmente dirigidas a los estados que no han desarrollado sus propias regulaciones o guías. Podrían usarse fuera de Estados Unidos, pero las condiciones locales podrían limitar su aplicabilidad en algunos países.
2. A menos que se indique lo contrario, los límites recomendados de calidad son aplicables al agua regenerada en el punto de descarga de la planta de tratamiento.
3. Se recomiendan distancias de separación para proteger las fuentes de abastecimiento de agua potable de la contaminación, y de proteger a los humanos de los riesgos para la salud debido a la exposición al agua regenerada.
4. Procesos de tratamiento secundarios incluyen procesos de lodos activados, filtros percoladores, rotadores de contacto biológico, y pueden incluir sistemas de lagunas de estabilización. El tratamiento secundario de efluentes debe producir en que tanto la DBO y SST no excedan 30 mg / l.
5. Filtración significa el paso de las aguas residuales a través de los suelos no perturbados naturales o medios filtrantes como arena y / o antracita, filtro de tela, o el paso de las aguas residuales a través de microfiltros u otros procesos de membrana.

6. Desinfección significa la destrucción, la inactivación o eliminación de microorganismos patógenos por químicos, medios físicos o biológicos. La desinfección puede llevarse a cabo mediante la cloración, la radiación UV, ozonización, otros desinfectantes químicos, procesos de membrana, u otros procesos.
7. Como se determinó a partir de la prueba de DBO 5-día.
8. El límite recomendado turbidez debe cumplirse antes de la desinfección. La turbidez media debe basarse en un período de 24 horas. La turbidez no debe exceder de 5 NTU en cualquier momento. Si SST se utiliza en lugar de turbidez, la SAT no debe exceder de 5 mg / l.
9. A menos que se indique lo contrario, los límites de coliformes son valores medios determinados a partir de los resultados bacteriológicos de los últimos 7 días en que se han completado los análisis. O bien puede usarse el filtro de membrana o fermentación- técnica del tubo.
10. El número de organismos coliformes fecales no debe exceder de 14/100 ml en ninguna muestra.
11. Residual de cloro total debe cumplirse después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos.
12. Es aconsejable para caracterizar completamente la calidad microbiológica del agua regenerada antes de la implementación de un programa de reutilización.
13. El número de organismos coliformes fecales no debe exceder de 800/100 ml en ninguna muestra.
14. Algunos sistemas de lagunas de estabilización pueden ser capaces de cumplir con este límite de coliformes sin desinfección.
15. Los cultivos comercialmente procesados son aquellos que, con anterioridad a la venta al público o de otros, han sido objeto de química o física de procesamiento suficiente para destruir los patógenos.
16. Procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales incluyen aclaraciones químicas, adsorción con carbón, osmosis inversa y otros procesos de membrana, extracción de aire, ultrafiltración, y el intercambio de iones.
17. El monitoreo debe incluir compuestos inorgánicos y orgánicos, o clases de compuestos, que se sabe o sospechan son tóxicos, cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos y no se incluyen en las normas de agua potable.

En 1993 la OMS elaboró un documento preliminar con la guía de límites máximos para sustancias químicas presentes en las aguas residuales a ser utilizadas en riego. La preocupación es que en muchas ciudades del mundo existe una mezcla de efluentes domésticos e industriales, lo cual constituye un factor de riesgo para la salud que debe tomarse en cuenta en los proyectos de uso de aguas residuales. Los metales pesados, por ejemplo, pueden bioacumularse a través de la cadena alimentaria. Además, los productos generados con el uso de aguas residuales pueden constituir un riesgo para la salud de los consumidores si en los efluentes existe una concentración elevada de estos compuestos. A manera de ejemplo, se muestra en la TABLA N°7.8 algunos valores límites existentes en la bibliografía. La concentración máxima se basa en una tasa de aplicación del agua acorde con buenas prácticas de irrigación (10.000 m³/h/año). Si la tasa de aplicación de agua excede considerablemente esta cantidad, las concentraciones máximas deben ajustarse en forma descendente. No se requiere ningún ajuste si la cantidad es menor de 10.000 m³. Los valores consideran el uso continuo del agua en un terreno.

Tabla N°7.8: Concentraciones recomendadas de elementos en traza en aguas para riego.

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA RECOMENDADA (mg/L)	OBSERVACIONES
Al (Aluminio)	5,0	Causa toxicidad en suelos (< 5.5 pH) y precipitado del ión en suelos alcalinos
As (Arsénico)	0,10	Tóxico para extensas variedades de plantas 12 mg/l para césped y 0.05 mg/l para arroz
Be (Berilio)	0,10	Tóxico para extensas variedades de plantas 5 mg/l para la col y 0.5 mg/l para el frijol
Cd (Cadmio)	0,01	Tóxico para el frijol en 0.1mg/l se acumula en el suelo y las plantas y puede ser perjudicial para los humanos
Co (Cobalto)	0,05	Tóxico para plantas de tomate a 0.1 mg/l
Cr (Cromo)	0,10	No es reconocido como un nutriente esencial
Cu (Cobre)	0,20	Tóxico para algunas plantas de 0.1 a 1.0 mg/l
F (Flúor)	1,0	Inactivo en suelos neutros y alcalinos
Fe (Hierro)	5,0	No es tóxico para las plantas en suelos aireados, contribuye a la acidificación del suelo y reduce las concentraciones de fósforo y molibdeno
Li (Litio)	2,5	Tolerado por algunos cultivos a más de 5 mg/l toxico para cultivos cítricos a > 0.075 mg/l
Mn (Manganeso)	0,20	Tóxico para algunos cultivos usualmente en suelos ácidos
Mo (Molibdeno)	0,01	No toxico para las plantas en concentraciones normales del suelo y agua
Ni (Níquel)	0,20	Tóxico para las plantas de 0.5 a 1.0 mg/l
Pb (Plomo)	5,0	Puede inhibir el desarrollo celular de la planta en altas concentraciones
Se (Selenio)	0,02	Tóxico para las plantas a concentraciones < 0.025 mg/l
Sn (Estaño) Ti (titanio) W(Tungsteno)		Las plantas lo excluyen efectivamente; se desconoce la tolerancia específica.
V (Vanadio)	0,10	Tóxico para las plantas a concentraciones relativamente bajas
Zn (Zinc)	2,0	Tóxico para muchas plantas, reduce su toxicidad a pH > 6.0

Fuente: (Metcalf y Eddy, 2003).

Las aguas residuales tratadas de reutilización a utilizar para riego de parques, jardines públicos y campos deportivos, deben tener una calidad similar a los anteriores, con la ventaja de que las plantas que se van a regar (césped y plantas ornamentales), son más tolerantes que los cultivos agrícolas. Donde el público tiene acceso directo a prados y parques regados con aguas residuales tratadas, el peligro potencial para la salud humana puede ser mayor que el que presenta el riego de verduras consumidas crudas.

Tabla N°7.9: Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS	CONTACTO PÚBLICO	
	DIRECTO	NO DIRECTO
Nematodos intestinales (media aritmética huevos/L).	<1	<1
Coliformes fecales (media geométrica/100 ml).	200	1000
Tratamiento recomendado	Estanques de estabilización ¹ o equivalente	Estanques de estabilización ¹ o equivalente
Grupo expuesto	Trabajadores, público.	Trabajadores, público.

¹ cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a T>20°C.

Las recomendaciones de la OMS para el *Riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público* se muestran en la TABLA N°7.9. La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU también recomienda en este caso una norma mucho más estricta que la recomendada por la OMS (TABLA N°7.10).

Tabla N°7.10: Normas de la Agencia de Protección Ambiental para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos.

TIPO DE REUTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	CALIDAD	DISTANCIA DE SEGURIDAD
Riegos de parques, cementerios, lavados de coches.	Secundario. Filtración. Desinfección.	pH= 6-9 <10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	A 15 metros de Fuentes o pozos de agua potable
Riego de árboles y parques con acceso público prohibido o infrecuente.	Secundario. Desinfección.	pH= 6-9 < 30 mg/L DBO 30 mg/L SS 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. **UNT** Unidades nefelométricas de turbiedad. **SS** Sólidos suspendidos. **CF** Coliformes fecales.

En general, los países que tienen una normatividad sobre la reutilización de las aguas residuales han tomado como referencia lo establecido por la EPA, en términos de la clasificación por tipos de reutilización, y las directrices de la OMS y de la FAO en lo relacionado con límites máximos permisibles de algunas sustancias. En América Latina,

algunos países, como Costa Rica, México y El Salvador tienen reglamentado la reutilización. En lugar de centrarse solamente en la calidad de las aguas residuales en esta etapa de uso, las directrices de la OMS-FAO recomiendan definir metas sanitarias realistas y evaluar y manejar los riesgos de manera continua, desde la generación de las aguas residuales hasta el consumo de productos cultivados con estas aguas residuales, con el fin de lograr estas metas. Esto permite que exista un sistema reglamentario y de monitoreo acorde a las realidades socioeconómicas del país o localidad.

La mayoría de los países de la Región no ha adoptado aún estándares de calidad de agua residual para su disposición, ya sea en ambientes libres o para riego. En los pocos casos que existe regulación, esta se orienta al manejo de impactos en ambientes libres, más no trata el uso agrícola de las aguas residuales. Entre los parámetros de control de la calidad de vertimientos, el tema de los patógenos se aborda parcialmente (en términos de colimetría fecal) o simplemente se ignora (en términos de huevos de helmintos). Pocos países han incorporado en sus normas legales las directrices de la OMS para el aprovechamiento de aguas residuales domésticas en el riego de cultivos, a pesar del innegable impacto negativo que tiene el uso irrestricto de aguas residuales sobre la salud pública.

La experiencia internacional y nacional en esta materia, permite anticiparse y definir los criterios de calidad en función de los usos, así como las responsabilidades del sector público y privado sobre esta nueva alternativa. La tendencia en este sentido es avanzar hacia la fijación de estándares de calidad en función del uso final, como lo muestran las guías generadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o las *Guidelines for Water Reuse* USEPA, 2004. Existen numerosos antecedentes de reglamentación de los estándares de aguas residuales para su reutilización según el destino final en diferentes partes del mundo: México NOM-003-SEMARNAT-1997; NOM-004- SEMARNAT-2002; US EPA, *Guidelines for Water reuse* (1992); España, Decreto Real 1620/2007; OMS, Guías para la reutilización de aguas residuales en agricultura y acuicultura (1989); USEPA, Directrices EPA (2004), entre otras.

Tabla N°7.11: Ejemplos de normas microbiológicas vigentes para aguas residuales utilizadas en el riego de cultivos.

PAÍS	RIEGO RESTRINGIDO	RIEGO SIN RESTRICCIONES
Omán	Máximo 23 CT/100 ml ^a Media <2,2 CT/100 ml Únicamente riego de zonas verdes	No se permite el riego de cultivos
Kuwait	Menos de 10.000 CT/100 ml	< de 100 CT/100 ml No se permite el riego en el caso de verduras para ensalada o frescas
Arabia Saudita	Se permite el uso del efluente secundario para forraje, cultivos de secano, verduras tratadas para su consumo y también para regar jardines.	< de 2,2 CT/100 ml < de 50 CF/100 ml ^b
Túnez	Árboles frutales, forraje y verduras que se consumen cocinadas - Tratamiento secundario (incluida cloración) - Ausencia de <i>Vibrio cholerae</i> y Salmonelas	No se permite el riego de verduras que se comen crudas
México	Para zonas recreativas: < de 10.000 CT/100 ml < de 2.000 CF/100 ml	Para verduras que se comen crudas y frutos en posible contacto con el suelo: < de 1.000 CT/100 ml
Perú	Tratamiento específico según el tipo de reutilización	No se riegan los cultivos de poca altura, tubérculos ni raíces que pueden comerse crudos

^a CT: Coliformes totales

^b CF: Coliformes fecales

Fuente: Mara, D. 1990.

7.3. Normativa en Argentina

En Argentina, la Ley Nacional sobre Residuos Peligrosos (N° 24.051) y su Decreto Reglamentario (631/93) no legisla en forma específica sobre el uso de este tipo de productos y en el caso particular, de aguas residuales. El Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento sólo enuncia directrices tentativas de calidad microbiológica indicando la necesidad de tener en cuenta factores epidemiológicos, socioculturales e hidrológicos para introducir modificaciones a nivel local. Argentina no tiene un marco legal que establezca las condiciones mínimas requeridas, así como las políticas de promoción para el desarrollo de esta actividad; sin embargo, existen experiencias aisladas de reutilización de aguas residuales con diferentes grados de consolidación.

En Argentina, Mendoza es la provincia con antecedentes más importantes en la reutilización de aguas residuales. La provincia ha desarrollado normativas que determinan calidad de efluentes y categorías de reutilización de los efluentes cloacales, que se muestra en la Tabla N°7.12 y Tabla N°7.13.

Tabla N°7.12: Anexo I – C) - Resolución N° 778/96 H.T.A. Normas de calidad de efluentes cloacales con tratamiento primario para reúso agrícola.

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE	MÁXIMO RECOMENDADO
A. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			
1 Conductividad	uS/cm	2250	1800
2 pH	Unidades	5,5-9	6,5-8,0
3 Temperatura	°C	45	30
4 R.A.S.	N°	6	4
5 Solubles en éter	mg/l	100	40
6 Sólidos Sedimentables en 10'	ml/l	0,5	<0,5
B. SUSTANCIAS TÓXICAS INORGANICAS			
ANIONES			
7 Sulfatos	mg/l	600	400
8 Cloruros	mg/l	500	400
9 Fluoruro	mg/l	1	0,6
10 Sulfuros	mg/l	1	0,5
11 Cianuros	mg/l	0,1	0,05
CATIONES			
12 Sodio	mg/l	500	250
13 Manganeso	mg/l	0,5	0,2
14 Bario	mg/l	2	1
15 Boro	mg/l	1	0,5
16 Hierro total	mg/l	5	3
17 Aluminio	mg/l	5	2
18 Arsénico	mg/l	0,1	0,05
19 Cadmio	mg/l	0,01	<0,01
20 Cobre	mg/l	1	0,5
21 Cromo (+6)	mg/l	0,1	0,05
22 Cromo total	mg/l	0,5	<0,5
23 Zinc	mg/l	3	2
24 Níquel	mg/l	0,5	0,2
25 Mercurio	mg/l	0,005	0,001
26 Plomo	mg/l	0,5	<0,5
27 Selenio	mg/l	0,05	0,02
28 Cobalto	mg/l	0,1	0,05
29 Detergentes	mg/l	3	1
30 Hidrocarburos totales	mg/l	50	10
31 Cloro libre residual	mg/l	0,5	<0,5
32 Fenoles	mg/l	0,5	<0,5
C. NUTRIENTES			
33 Potasio	mg/l	*	*
34 Nitratos	mg/l	*	*
35 Nitritos	mg/l	*	*
36 Nitrógeno amoniacal	mg/l	*	*
37 Nitrógeno total	mg/l	*	*
38 Fosfatos	mg/l	*	*
39 Fósforo total	mg/l	*	*
D. PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS Y ORGÁNICOS			
Bacterias			
40 Aeróbicas	Ufc/ml	*	*
41 Escherichia coli	N° 100 ml	10 ₅	1000
42 Pseudomonas Aeruginosas	N° 100 ml	*	*
Helminthos			
43 Helminthos	huevos /1000 ml	1	<1
44 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	mg/l	240	70
45 Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.)	mg/l.	170	100
E. ELEMENTOS Radioactivos			

46 Uranio	ug/l	1500	1500
47 Radio 226	pico curie/l	5	5

(*): Límite a determinar según afectación al acuífero, estableciéndose valores para cada caso en particular.

Nota: Los valores que figuran en la presente tabla, serán revisados anualmente.

Tabla N°7.13: Anexo I - d) – Resolución N° 778/96 H.T.A. Normas de calidad de efluentes cloacales con tratamiento secundario para reúso agrícola

Parámetros	Unidad	Límite Máximo	Límite Recomendado
A. PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			
1 Conductividad	uS/cm	2250	1800
2 pH	unidades	5,5-9	6,5-8,0
3 Temperatura	°C	45	30
4 R.A.S.	No	6	4
5 Solubles en éter	mg/l	80	30
6 Sólidos Sedimentables en 10'	ml/l	0,5	<0,5
B. SUSTANCIAS TOXICAS INORGANICAS			
ANIONES			
7 Sulfatos	mg/l	600	400
8 Cloruros	mg/l	500	400
9 Fluoruro	mg/l	1	0,6
10 Sulfuros	mg/l	1	0,5
11 Cianuros	mg/l	0,1	0,05
CATIONES			
12 Sodio	mg/l	500	250
13 Manganeso	mg/l	0,5	0,2
14 Bario	mg/l	2	1
15 Boro	mg/l	1	0,5
16 Hierro total	mg/l	5	3
17 Aluminio	mg/l	5	2
18 Arsénico	mg/l	0,1	0,05
19 Cadmio	mg/l	0,01	<0,01
20 Cobre	mg/l	1	0,5
21 Cromo (+6)	mg/l	0,1	0,05
22 Cromo total	mg/l	0,5	<0,5
23 Zinc	mg/l	3	2
24 Níquel	mg/l	0,5	0,2
25 Mercurio	mg/l	0,005	0,001
26 Plomo	mg/l	0,5	<0,5
27 Selenio	mg/l	0,05	0,02
28 Cobalto	mg/l	0,1	0,05
29 Detergentes	mg/l	3	1
30 Hidrocarburos totales	mg/l	10	5
31 Cloro libre residual	mg/l	0,5	<0,5
32 Fenoles	mg/l	0,05	<0,05
33 Potasio	mg/l	*	*
34 Nitratos	mg/l	*	*
35 Nitritos	mg/l	*	*
36 Nitrógeno amoniacal	mg/l	*	*
37 Nitrógeno total	mg/l	*	*
38 Fosfatos	mg/l	*	*
39 Fósforo total	mg/l	*	*
D. PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS Y ORGÁNICOS			
40 Bacterias Aeróbicas	Ufc/ml	*	*
41 Escherichia coli	N°/100 ml	1000	250
42 Pseudomonas Aeruginosas	N°/100 ml	*	*

43 Helmintos	huevos/1000 ml	1	<1
44 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	mg/l	70	50
45 Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.)	mg/l	30	<30
E. ELEMENTOS RADIOACTIVOS			
46 Uranio	ug/l	1500	1500
47 Radio 226	pico curie/l	5	5

(*): Límite a determinar según afectación al acuífero, estableciéndose valores para cada caso en particular.

Nota: Los valores que figuran en la presente tabla, serán revisados anualmente.

En la provincia de Neuquén se regula el vertido de aguas residuales tratadas mediante parámetros de calidad de agua para su infiltración sub-superficial (Tabla N°7.14), que se utilizan como referencia en la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Neuquén. Hasta que se elaboren las guías de calidad de agua residual para el vertido al suelo los efluentes a volcar deberán ajustarse a los siguientes valores:

Tabla N°7.14: Parámetros de calidad de agua para su infiltración sub-superficial

PARÁMETROS	LÍMITES PERMISIBLES	
pH	6 - 8	-
Detergentes	3	mg/l
Fenoles	0,05	mg/l
Grasas y aceites	50	mg/l
Cloro libre	0,5 – 2	mg/l
DBO ₅	100	mg/l
DQO	250	mg/l
Nitrógeno total	50	mg/l
Fósforo total	0,5	mg/l
Escherichia coli	250	NMP/100 ml

La normativa que se muestra en la Tabla N°7.15 fue emitida por EPAS (ente Provincial de Agua y Saneamiento), de la Provincia de Neuquén. Se evalúa la calidad del efluente.

TABLA N°7.15: Resolución N° 0709 /11 - Anexo I

TABLA DE PARÁMETROS Y SUS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	CALIDAD DEL EFLUENTE
Temperatura °C	45° C
Color	(a)
Olor	No se permitirán líquidos con olores acentuados
pH	6,5 – 9,0
Sólidos en suspensión totales mg/l	(a)
Sólidos sedimentables en 10 min ml/l	0,5
Sólidos sedimentables en 2 hs ml/l	1,0
Oxígeno disuelto mg/l O ₂	(b)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) mg/l O ₂	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/l O ₂	250
Sulfuros mg/l S ⁼	1,0
Sustancias solubles en frío en éter etílico mg/l	50
*Grasas y aceites polares	10 (c)
*Hidrocarburos de petróleo y aceites minerales	
Detergentes mg/l SAAM	1,0 (d)
Fósforo total mg/l P	0,5
Amonio mg/l NH ₄ ⁺	3,0 (e)
Nitrógeno Total Kjeldalh mg/l N	50 (f)
Cloro residual libre mg/l -medido en campo-	0,5 a 1,5

NOTAS:

- No ha de provocar modificación al medio receptor.
- No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro DBO₅.
- En un radio de descarga menor de 5 km. de una toma de agua para bebida, debe ser menor de 0,01 mg/l.
- No deben producirse espumas ni problemas de sabor ni olor.
- En vertidos a cuencas de lagos 0,5 mg/l.
- Cantidad tan pequeña como sea posible en las cuencas de los lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutrofización. De ser necesario se fijará la carga total diaria en kg/día de fósforo total, nitrógeno total y nitrógeno de amonio.

La Provincia de Río Negro mediante la *Resolución 885/15* y la *Resolución 886/15* (Tabla N°7.16 y Tabla N°7.17), establece los límites permisibles para vertido de efluentes tratados según actividad procedente de los mismos.

Tabla N°7.16: Resolución 885 DPA (Dirección Provincial de Aguas) - Anexo V – Límites Máximos Admisibles de Parámetros de Calidad (Año 2015)

PARÁMETROS	UNIDADES	COLECTORES DE DRENAJE Y PLUVIALES	COLECTORA CLOACAL	INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL
Nutrientes				
Fosforo total	mg/L	5,0	5,0	5,0
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos	mg/L	20,0	50,0	20,0
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	5,0	75	10,0
Nitrógeno Total	mg/L	30,0	100,0	30,0
Fitosanitarios				
Fitosanitarios Organoclorados	mg/L	0,0005	0,005	0,0005
Fitosanitarios Organofosforados	mg/L	0,1	1,0	0,1
Otros				
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	2 x 10 ³	10 ⁵	-
Cloro libre	mg/L	1	-	-

* En el caso de captación de agua subterránea, no superior al 10% de la conductividad de la fuente de agua.

** En el caso de lagunas de estabilización, la muestra debe ser filtrada mediante membrana de fibra de vidrio sin ligante, tamaño de poro de 0,7 µm.

Tabla N°7.17: Resolución 885 DPA (Dirección Provincial de Agua) – B – Descarga de Efluentes en Colectores e Infiltración Subsuperficial (Año 2015)

PARÁMETROS	UNIDADES	COLECTORES DE DRENAJE Y PLUVIALES	COLECTORA CLOACAL	INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL
Generales				
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	45	45	45
Conductividad	µS/cm	2500 *	2000	-
Sólidos sedimentables en 10'	mL/L	-	0,5	-
Sólidos sedimentables en 2 hs	mL/L	1	1	5
Grasas y Aceites	mg/L	50	50	50
Fenoles	mg/L	0,5	2	0,5
Detergentes	mg/L	4	5	1
DBO, 5 días 20°**	mg/L	50	200	100
DQO **	mg/L	250	500	500
Hidrocarburos Totales	mg/L	2	10	10
Iones				
Cianuros	mg/L	0,2	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	500	500	200
Fluoruros	mg/L	5	10	10
Sulfatos	mg/L	500	500	500
Sulfuros	mg/L	1	1	5
Metales y Metaloides				
Aluminio	mg/L	2	3	2
Arsénico	mg/L	0,1	0,1	0,1
Bario	mg/L	1	2,0	1
Boro	mg/L	1	1	2
Cadmio Total	mg/L	0,01	0,1	0,01
Calcio	mg/L	200	500	500
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cobre	mg/L	1	1	2
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	0,2	Ausente
Estaño	mg/L	1	2	2
Hierro	mg/L	3	5	-
Manganeso	mg/L	2	3	2
Molibdeno	mg/L	0,5	0,5	0,5
Selenio	mg/L	0,1	0,2	0,2
Sodio	mg/L	250	-	140
Mercurio Total	mg/L	0,001	0,002	0,001
Níquel	mg/L	0,5	1,5	0,5
Plata	mg/L	0,1	0,5	0,1
Plomo	mg/L	0,2	0,2	Ausente
Zinc	mg/L	0,5	1	0,5
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1

RESOLUCIÓN 886 DPA - PROVINCIA DE RÍO NEGRO

ANEXO III

LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES DE PARAMETROS DE CALIDAD PARA EFLUENTES DE ACTIVIDAD TIPO I

Límites máximos admisibles de parámetros de calidad para efluentes de las actividades TIPO II y III serán establecidos por la Autoridad de Aplicación según el cuerpo receptor y la naturaleza de la actividad.

Otra ciudad que posee un proyecto de normativa en cuanto a la reutilización de efluentes es Puerto Madryn, Chubut (Tabla N°7.18). En el marco de la Ley N° 5850/08 de Política Hídrica, en su artículo 19 incorpora la actividad de reutilización de aguas residuales, que ha permitido avanzar en experiencias al respecto. Dicho artículo manifiesta: “Acéptese como parte integrante del tratamiento de los desagües cloacales e industriales, el reúso ordenado en suelo, con tratamiento complementario en tierra, e implantación de cultivos restringidos, debiendo complementarse el mejoramiento de líquidos progresivamente en etapas sucesivas, antes de su ingreso al reúso. Los espacios donde se aplicará el reúso de los efluentes se denominará «Área de Cultivos Restringidos Especiales». La Autoridad de Aplicación otorgará los respectivos permisos de reúso de efluentes y reglamentará las condiciones de uso y calidad de las aguas tratadas y los cultivos permitidos en dichas áreas”.

Tabla N°7.18: Ordenanza N°6301/06 – Ciudad de Puerto Madryn – Provincia de Chubut. Anexo I – Tabla 1: Parámetros de Calidad de Efluentes Cloacales Tratados para Reúso.

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO	FRECUENCIA
A. PARAMETROS FISICO – QUIMICOS			
Conductividad	S/cm	2250	Quincenal
pH	Unidades	5.5-9.0	Quincenal
R.A.S.	N°	6	Quincenal
Sustancias solubles en frío en éter etílico	mg/l	100	Trimestral
	ml/l	0.5	Quincenal
Sólidos sedimentables en 10 min.			
Sólidos sedimentables en 2 hs.	ml/l	0.5	Quincenal
Sólidos suspendidos totales	nmg/l	300	Quincenal
B. SUSTANCIAS TÓXICAS INORGANICAS			
ANIONES			
Sulfatos	mg/l	600	Semestral
Cloruros	mg/l	500	Quincenal
Fluoruros	mg/l	5	Semestral
Sulfuros	mg/l	1	Semestral
Cianuros	mg/l	0.01	Semestral
CATIONES			
Sodio	mg/l	500	Quincenal
Manganeso	mg/l	0.5	Semestral

Bario	mg/l	4	Semestral
Boro	mg/l	4	Semestral
Hierro Total	mg/l	5	Semestral
Aluminio	mg/l	5	Semestral
Arsénico	mg/l	0.05	Semestral
Cadmio	mg/l	0.01	Semestral
Cobre	mg/l	3	Semestral
Cromo (+6)	mg/l	0.05	Semestral
Cromo Total	mg/l	0.5	Semestral
Zinc	mg/l	10	Semestral
Níquel	mg/l	0.1	Semestral
Mercurio	mg/l	0.005	Semestral
Plomo	mg/l	0.05	Semestral
Selenio	mg/l	0.01	Semestral
Cobalto	mg/l	1.0	Semestral
Cloro libre residual	mg/l	*	Mensual
Potasio	mg/l	*	Semestral
C. NUTRIENTES			
Nitratos	mg/l	*	Quincenal
Nitritos	mg/l	*	Quincenal
Nitrógeno amoniacal	mg/l	*	Quincenal
Nitrógeno Total	mg/l	*	Trimestral
Fosfatos	mg/l	*	Quincenal
Fósforo total	mg/l	*	Trimestral
D. PARAMETROS ORGANICOS			
DQO (filtrada) (1)	mg/l	70	Quincena
DBO (filtrada) (1)	mg/l	30	Quincenal
Hidrocarburos Totales	mg/l	10	Semestral
Fenoles	mg/l	0.05	Semestral
Detergentes	mg/l	3	Semestral
E. PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS			
Bacterias aeróbicas	UFC/ml	*	Quincenal
Coliformes totales	NMP/100 ml	*	Quincenal
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	Quincenal
Pseudomonas aeruginosas	NMP/100 ml	**	Trimestral
Helmintos	Huevos/1000 ml	1	Trimestral

(*) Límite a determinar por la Autoridad de Reúso, según el uso que se le dé al efluente, estableciéndose valores para cada caso en particular.

Nota: los valores que figuran en la presente tabla serán revisados anualmente.

(**) Límite máximo definido según la Tabla 2: Parámetros de calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en la agricultura para riego restringido.

(1) Determinación a realizar con descuento de masa algal.

La Provincia de Buenos Aires emitió la Resolución N°336/03 sobre vertido de efluentes líquidos, que se muestra en la Tabla N°7.19.

Tabla N°7.19: Resolución N°336/03. Anexo I – Parámetros de la Calidad de las Descargas Límites Admisibles.

				Límites para descargar a:			
Grupo	Parámetro	Unidad	Código Técnica Analítica	Colectora Cloacal	Cond. Pluvio Cuerpo de agua superficial	Absorción por suelo	Mar abierto
I	Temperatura	°C	2550 B	≤45	≤45	≤45	≤45
	pH	u pH	4500H+B	7.0-10	6.5-10	6.5-10	6.5-10
	Sólidos sediment. 10 min (2)	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos sediment en 2 horas (2)	ml/l	Cono Imhoff	≤5.0	≤1.0	≤5.0	≤5.0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤2.0	≤1.0	≤5.0	Ne (c)
	S.S.E.E.(1)	mg/l	5520 B (1)	≤100	≤50	≤50	≤50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	≤0.1	≤0.1	ausente	≤0.1
	Hidrocarburos totales	mg/l	EPA 418.16 ASTM 3921-85	≤30	≤30	ausente	≤30
	Cloro Libre	mg/l	4500 Cl G (DPD)	NE	≤0.5	ausente	≤0.5
	Coliformes Fecales	NMP/1 00ml	9223 A	≤20000	≤2000	≤2000	≤20000
II	D.B.O	mg/l	5210B	≤200	≤50	≤200	≤200
	D.Q.O	mg/l	5220 D	≤700	≤250	≤500	≤500
	S.A.A.M	mg/l	5540 C	≤10	≤2.0	≤2.0	≤5.0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤2.0	≤0.5	≤0.1	≤2.0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	≤1000	NE	≤1000	NE
	Carbono Orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤10	≤2.0	≤0.1	≤10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤1.0	≤0.5	≤0.1	≤10
III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤5.0	≤2.0	≤1.0	≤5.0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤3.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0
	Cromo Total	mg/l	3111 B y C	≤2.0	≤2.0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤0.2	≤0.2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	≤0.5	≤0.1	Ausente	≤0.1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤0.02	≤0.005	Ausente	≤0.005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D o 3111B y C	≤2.0	≤1.0	Ausente	≤2.0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D o 3111 B y C			≤5.0	≤2.0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤0.5	≤0.5	≤0.1	≤0.5
	Bario	mg/l	3111 B	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0

	Boro	mg/l	4500 BB	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤0.1	≤0.1	Ausente	≤0.1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤0.1	≤0.1	Ausente	≤0.1
	Plaguicidas Organoclorados	mg/l	6630 B	≤0.5	≤0.05	Ausente	≤0.05 (g)
	Plaguicidas Organofosforados(g)	mg/l	6630 B	≤1.0	≤0.1	Ausente	≤0.1
IV	Nitrógeno total(d)	mg/l	4500 N org B(NTK)	≤105	≤35	≤105	≤105
	Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/l	4500 NH3+F	≤75	≤25	≤75	≤75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	≤30	≤10	≤30	≤30
	Fosforo Total (d)	mg/l	4500 PC	≤10	≤1.0	≤10	≤10

NOTAS:

a) Los efluentes que sean evacuados por camiones atmosféricos deberán ajustarse a estos límites admisibles, según el destino final de los mismos.

b) La indicación de “Ausente” es equivalente a menor que el límite de detección de la técnica analítica indicada.

c) N. E. significa que por el momento no se establece límites permisibles.

d) Estos límites serán exigidos en las descargas a lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutrofización. De ser necesario, se fijará la carga total diaria permisible en g/día de Fósforo Total y de Nitrógeno Total.

e) Los establecimientos e inmuebles pertenecientes a los Códigos de Actividad números 01101; 01102; 01103; 01104; 01110; 01112; 01114; 01118; 01122; 01130; 01199; 01200; 01201; 02401;02403;11101;11103; 11201; lavaderos de camiones jaula, clínicas, hospitales, centros de salud, de diálisis, asistenciales y aquellos que puedan afectar la salud y bienestar público, la calidad de una fuente de agua (aguas subterráneas y/o superficiales) suelo y/o propaguen bacterias y/o virus de tipo patógeno, deberán satisfacer la Demanda de Cloro de sus efluentes, previo a su descarga.

f) Este parámetro será controlado en descargas próximas a una zona de balneario. El valor indicado constituye el nivel máximo admisible a una distancia de por lo menos de 500 metros de una playa o área destinada a deportes acuáticos.

g) Serán los incluidos en la Ley Provincial N° 11720 de Residuos Especiales (Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final) y su Reglamentación (Ver Anexo III)

h) En “Absorción por el suelo” deben comprenderse solamente a las lagunas facultativas y riego por aspersión. Queda expresamente prohibida la inyección a presión en el suelo o en la napa en forma directa o indirecta de los efluentes líquidos tratados o no tratados de ningún tipo de establecimiento. En la descarga a conducto superficial, absorción por el suelo o vuelco a mar abierto el líquido residual tratado debe tener satisfecha la demanda de cloro.

i) Los propietarios deberán, a los efectos de la autorización para emisión de efluentes, tener en cuenta además- lo estipulado en el Artículo 7° del Decreto N° 2009/1960 y su modificatorio N° 3970/1990, en lo referente a los lodos producidos en las instalaciones de depuración.

j) Los establecimientos o inmuebles que se radiquen en la Provincia de Buenos Aires a partir de la fecha de publicación de la presente, deberán cumplir con todos los límites admisibles indicados en el Anexo II, desde el inicio de sus actividades

k) Todos los establecimientos o inmuebles que desarrollen actividades en la Provincia de Buenos Aires y utilicen cincuenta (50) m³/día o más de agua, deberán llevar un registro de la cantidad y calidad de sus efluentes líquidos en las condiciones especiales que establezca la Dirección de Planificación, Control y Preservación de los Recursos Hídricos.

Capítulo 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A nivel mundial, se han estado implementando diversos tratamientos para aguas servidas, o residuales, con el objeto de hacerlas aprovechables.

En este estudio, se evaluó la eficiencia de tratamiento de las plantas modulares y posteriormente se estudió la calidad de estos efluentes tratados para determinar su posible reutilización. Además, analizar las normas de vertido y de reutilización de aguas residuales tratadas.

Se tuvo en cuenta que la normativa vigente para la Provincia del Neuquén, solamente trata de calidad de agua para vertido en cuerpos de agua superficiales, pero no trata el tema del vertido del agua tratada sobre suelos y posibles reutilizaciones.

Como el objetivo de esta tesis es demostrar que es posible la reutilización de este tipo de aguas residuales tratadas, y que sirva para ayudar a implementar una legislación provincial que regule y permita el uso de aguas tratadas para su reutilización en vertidos en tierra y consecuentes aprovechamientos, puede enumerarse las siguientes

Conclusiones Parciales:

Con respecto al tratamiento de efluentes en plantas modulares

- Esta tecnología de tratamiento de aguas residuales domiciliarias es viable y ampliamente utilizada en pequeños asentamientos, y con altos rendimientos (92%).
- La eficiencia del sistema de tratamiento fue óptima durante el período de años de 2009 a 2012, logrando muchas veces altos valores de rendimiento. Con los siguientes valores de rendimiento de remoción:

DBO ₅	93 – 99 %
DQO	77 – 92%
NT	55 – 94%
PT	35 – 96%
CF	97 – 100%

En los años 2006 al 2008, se obtuvieron bajos rendimientos de las plantas de tratamiento. Se debe tener en cuenta, que estas plantas comenzaron su puesta en marcha en el año 2006.

- Los valores medios de rendimiento obtenidos se encuentran dentro de los rangos de eficiencia de estas plantas de tratamiento. El parámetro **DBO₅** tuvo valores acordes a los valores de rendimiento medio que poseen estas plantas. Los valores oscilan entre el orden del 93 % al 99% de eficiencia. La eficiencia de remoción de la **DQO** coincide con estudios realizados en similares plantas de tratamiento (Sansot y Sosa, 2005). La eficiencia de la remoción del **Nitrógeno Total** es baja para los dos primeros años, aumentando en los posteriores. La eficiencia de remoción de Fósforo Total y Coliformes Fecales fue óptima durante el estudio de las plantas de tratamiento.
- Las mejoras introducidas en las plantas de tratamiento optimizaron la eficiencia, como fue la instalación de sopladores para obtener una mayor oxigenación y mezcla.

Con respecto a la calidad de los efluentes tratados,

- Los efluentes tratados fueron analizados de acuerdo a la normativa vigente para ese período de años (2006 – 2012) emitida por la Dirección Provincial de Recursos Hídricos.
- La calidad de los efluentes tratados para ser vertidos en tierra fue óptima. Siendo los años 2006 y 2007 con baja calidad del efluente tratado para ser vertido, donde los parámetros DBO₅, DQO, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, Fósforo Total, Detergentes y Coliformes Fecales que no cumplían con los límites permisibles de la normativa.
- Se observaron valores de Nitrógeno Total y Fósforo Total que superaron los límites permisibles de la normativa de la Dirección Provincial de Recursos Hídricos. Esta normativa corresponde para vertido en cuerpos superficiales de agua.
- Los valores de DBO₅ que están sobre el límite permisible coinciden con los años que se tuvo bajo rendimiento la planta de tratamiento (2006 y 2010) con respecto a los otros años, que tienen valores de rendimiento del orden de 95 – 99%. Los valores de DQO en el año 2006 se encontraban en el límite permisible y es el año de bajo rendimiento de remoción para este parámetro (41%).
- En cuanto a los valores medios obtenidos de Nitrógeno Total los dos primeros años (2006 y 2007) están por encima de los límites permisibles y coinciden con los años de

más bajo rendimiento de las plantas (14 – 24%). Los 2009, 2010 y 2012 fueron los años con valores de rendimiento entre 54 – 90%. Los valores medios de Nitrógeno Total no cumplen con la Normativa correspondiente. Sin embargo, cuando la planta de tratamiento alcanza valores de rendimiento alrededor del 94%, se obtienen valores medios que se encuentran dentro de los límites permisibles como ocurre en los años 2008 y 2011.

- Se obtuvo un valor medio de Fósforo Total en el año 2008 que se encuentra dentro del límite de la normativa correspondiente, mientras que los restantes años los valores no cumplieron con los límites permisibles. El año 2008 coincide con el mayor rendimiento de la planta de tratamiento (96%) para la remoción del parámetro.
- El tratamiento realizado mediante las plantas modulares incluye en su etapa final la desinfección del efluente, con lo cual se asegura la aptitud del mismo con respecto a la presencia de patógenos. En este caso, se observa que el valor de rendimiento de la planta de tratamiento para remoción de Coliformes Fecales es del 99%. Sin embargo, los años 2006 y 2010 tienen rendimientos bajos del orden del 97% que coincide con los años en donde los valores medios no están dentro del límite permisible.
- Los restantes parámetros: pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables en 10 min., Sólidos Sedimentables en 2 hs., Grasas y Aceites e Hidrocarburos Totales; se encontraron dentro de los límites permisibles durante el período de estudio (2006 – 2012).

Con respecto a la reutilización de aguas servidas

- El aprovechamiento de las aguas tratadas, en América Latina, en especial la reutilización agrícola de las aguas residuales está muy poco documentada.
- Argentina no tiene un marco legal que establezca las condiciones mínimas requeridas, así como las políticas de promoción para el desarrollo de esta actividad; sin embargo, existen experiencias aisladas de reutilización de aguas residuales tratadas.
- La provincia de Mendoza, cuenta con un entramado institucional y jurídico complejo en materia de gestión de agua y reutilización de las aguas residuales (que debiera convertirse en antecedente valioso para definir los criterios esenciales de una ley a nivel nacional).

- En Argentina, existen experiencias de reutilización de aguas residuales que sirven como antecedentes para el desarrollo de nuevos proyectos. Las principales experiencias en reutilización de aguas residuales tratadas se presentan en la Provincia de Mendoza (Campo Espejo, Palmira, Rivadavia y San Martín), en las localidades de Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia, y en Villa Nueva, Provincia de Córdoba.
- La experiencia mundial de reutilización de aguas, las tecnologías disponibles y el conocimiento desarrollado respecto de los riesgos inherentes a esta actividad, han llevado a los países que tienen normas sobre el uso de aguas regeneradas o aguas residuales tratadas y a la OMS, a definir criterios sanitarios y ambientales, cada vez más flexibles, que permiten evaluaciones especiales, según el uso posterior de cada proyecto.

Con respecto a la legislación

- Cuando se planifican y gestionan adecuadamente, los proyectos de aprovechamiento de aguas residuales ejercen efectos ambientales positivos.
- Para ello debe considerarse la implementación de reutilización de aguas residuales domésticas teniendo en cuenta la calidad del agua en sus tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental.
- Se hace necesario establecer criterios sanitarios y ambientales definidos por medio de estándares que fijen los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para diferentes usos finales.
- El análisis de la normativa argentina, las guías de la OMS y normas de la USEPA para reutilización de efluentes tratados, comprende diferentes parámetros de estudio. Para las guías de la OMS se realiza un énfasis en el estudio de las Coliformes Fecales y los Nematodos ya que su prioridad es la protección de la salud de la población. En cuanto a las normas de la USEPA para riego de espacios verdes (acceso público prohibido o infrecuente) los parámetros para estudio son pH, DBO, Coliformes Fecales, Cloro libre, Sólidos Suspendedos Totales y Turbidez. Las normativas vigentes en Argentina (Mendoza, Bs. As., Río Negro y Puerto Madryn) para reutilización de efluentes tratados, se estudian una amplia cantidad de parámetros para evaluar su calidad.

- Cada normativa y guías, que fueron analizadas en este estudio, son aplicadas de acuerdo al objetivo o tipo de reutilización que se le va a dar a las aguas residuales.

De lo anteriormente dicho se desprende la siguiente

Conclusión General:

que,

habiendo la necesidad de reutilización de las aguas servidas domiciliarias,

habiendo los tratamientos adecuados, que se hayan aplicado a estos efluentes,

y cumpliendo los parámetros de vertido en agua,

es **absolutamente permisible la reutilización de este tipo de aguas tratadas**, en usos agropecuarios, una vez cumplidos los tratamientos y adecuación correspondientes.

Las plantas de tratamiento durante el período de análisis (2006 – 2012) tuvieron rendimientos de remoción óptimos para un adecuado funcionamiento. Se resalta la evolución del rendimiento, a partir de la observación y los datos arrojados, que durante los dos primeros años (2006 y 2007) fueron bajos y corresponden a los de puesta en marcha de las plantas. Siendo, los años posteriores con mayor rendimiento.

La calidad del efluente, se ve reflejada en el rendimiento de la planta de tratamiento ya que los años donde los parámetros no cumplen con los límites permisibles corresponden a los de bajo rendimiento. Durante el período de estudio, la calidad del efluente fue aceptable para su vertido en tierra. Los parámetros Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Fósforo Total fueron aquellos que no cumplen con los límites permisibles estipulados en la normativa emitida por la Dir. Pcial. de Recursos Hídricos. Sin embargo, esta normativa es para vertido de efluentes en cuerpos de aguas superficiales, y estos parámetros en otras normativas no son exigidos o quedan sujeto al ambiente que se va a realizar el vertido.

Las normativas y guías analizadas sugieren límites permisibles para los efluentes, de acuerdo a el tipo de reutilización que se va a aplicar.

Un objetivo de esta tesis es suministrar los fundamentos que puedan ayudar a tomar decisiones en cuanto a la implementación de una nueva legislación en la provincia del Neuquén ya que en este momento solo existe una guía, como se ha mencionado en capítulos anteriores.

Las experiencias a nivel nacional sobre reutilización de efluentes tratados dejan un precedente importante para el desarrollo de futuros proyectos en la zona. Asimismo, los marcos jurídicos ya establecidos en otras provincias son un antecedente para la implementación de nuevas normativas en cuanto a la reutilización de aguas residuales.

Por lo tanto, es posible reutilizar estas aguas residuales tratadas en la zona teniendo en cuenta que se necesitan definir objetivos claros para el tipo de reutilización de estos efluentes que se le va a dar, controles para la protección del ambiente y salud pública, y una normativa adecuada a la situación regional que regule su reutilización.

Todo lo expuesto sirve para enfatizar que el objetivo de esta tesis se ha cumplido acabadamente.

Recomendaciones

- El desarrollo de una reglamentación de reutilización a nivel regional debe considerarse bajo un enfoque integrador, en el que las características del agua residual, el tipo de tratamiento de efluentes residuales, la calidad requerida en el uso posterior del agua residual y las condiciones naturales de la zona jueguen un papel importante.
- La reutilización de las aguas no puede verse desde un solo sector, como la agricultura, sino que se requiere de una perspectiva más amplia que considere las ciudades y el medio ambiente.
- Es necesario establecer normativas sobre control de patógenos en general y especialmente en el control específico de helmintos.
- Tener en cuenta la protección general de la salud de la población cuando se utilizan efluentes domiciliarios.
- Se hace evidente la necesidad de llevar a cabo más investigaciones que fortalezcan el conocimiento epidemiológico. En los casos de reutilización para riego, se hace necesario llevar a cabo estudios de investigación en nuestra región que determinen la tolerancia de los principales cultivos a la salinidad y micronutrientes.
- Además, es necesario realizar investigaciones para el desarrollo de tecnologías económicas, seguras, sostenibles y fiables adaptadas a las condiciones de los países en vías de desarrollo.

“Las aguas residuales son un valioso recurso que debería emplearse siempre que fuera posible, con las debidas medidas de protección sanitaria...”. (OMS 1990)

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALVAREZ, A.; FASCILOLO, G.; BARBAZZA, C.; LORENZO, F. Y BALANZA, M.E. Impactos en el agua subterránea de un sistema de riego de efluentes para riego. El sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina). Rev. FCA UNCuyo. (2): 61-81. Año 2008. Obtenido en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2720/alvarezagrarias2-08.pdf [Consulta: 7 de julio de 2014]

BARBEITO ANZORENA, E. Estudio general del caso Campo Espejo del aglomerado Gran Mendoza, República Argentina. Año 2001. Proyecto Regional: Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IRDC-OPS/HEP/CEPIS. 2000 – 2002. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/mendoza.pdf> [Consulta: 11 de junio de 2013]

BERNAL, D. P., CARDONA D.A., GALVIS, A Y PEÑA, M.R. *Guía de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domesticas por métodos naturales*. En: Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de aguas Residuales. Cali, Colombia, Instituto Cinara, Universidad del Valle. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/berna.pdf> [Consulta: 8 de abril de 2013].

CFI – NEU. *El clima de la Provincia del Neuquén*. Año 1984.

COPADE – CFI. *Mapa de suelo de la Provincia del Neuquén*.

COPADE – CFI. *Estudio Regional de suelo – Provincia del Neuquén*. Vol. I Tomo 2 – 3. Año 1991.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), UNITED STATES. 2012. *Guidelines for Water Reuse*. Obtenido en: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014].

ESCALANTE, V. et al. El reúso de agua residual tratada en México. En: Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf> [Consulta: 31 de agosto de 2013]

FASCILOLO, G.E.; GABRIEL, E.; MORÁBITO, J. Y TOZZI, F. Impactos agroeconómico del riego con efluentes domésticos tratados en cultivos de ajo y cebolla. Obtenido en: <http://www.w.ina.gov.ar/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-5-Fasciolo.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FASCILOLO, G.; GABRIEL, E.; MECA, M.I. Y LIPINSKI, V. Riego con efluentes tratados: aceptabilidad sanitaria para un cultivo de ajo. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Obtenido en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-013.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

GUTIERREZ, O.S. Y RODRIGUEZ VELO, J. N. Digestión de aguas residuales, en cámaras modulares compactas por acción combinada anaeróbica y aeróbica. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 6 (1): 34-38, 2002. Obtenido en: <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t006-a007.pdf> [Consulta: 6 de julio de 2013]

HUERTAS, R. et al. Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 2006. Obtenido en:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/> [Consulta: 20 de octubre de 2010]

JARAMILLO, M. F. Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el Valle geográfico del río Cauca. Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali, 2010. Obtenido en: http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_GEN_PHD_D5.3.12_MSc_Jaramillo_Reuse_of_domestic_wastewater.pdf [Consulta: 20 de julio de 2010]

MARTÍN GARCÍA, I. et al. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes. Abril de 2006. Obtenido en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf> [Consulta: 8 de abril de 2014]

MOSCOSO CAVALLINI, J.C. Proyecto Integral: Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (28 °, 2002, Cancún, México). Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/matedu/cancu.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

OMS (Organización Mundial de la Salud). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes técnicos 778. Organización Mundial de la Salud, Ginebra 1989. Obtenido en: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_778_spa.pdf [Consulta: 13 de agosto de 2013]

ROMAGNOLI, S. Y THOMAS, E. *Forestación con aguas residuales tratadas: una alternativa para transformar un problema ambiental en un recurso valioso*. Rev. Salud Ambiental, núm. 64, pp. 14-21. Año 2010. Obtenido en: http://inta.gob.ar/documentos/forestacion-con-aguas-residuales-tratadas/at_multi_download/file/fyd64_forestacion.pdf [Consulta: 14 de agosto de 2013]

SANDOVAL YOVAL, L. Y COLLÍ MISSET, J. *Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reúso en agricultura*. Obtenido en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/colli.pdf>

[Consulta: 1 de julio de 2010]

SANSOT, N. O. Y SOSA, R. A. (2005). *Tratamiento de líquidos cloacales mediante unidades depuradoras biológicas compactas, en asentamientos temporarios en Neuquén, Argentina*. Rev. Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS. Edición 83: 75-79.

SANTOS, J.A. *¿Que es una E.D.A.R.?* Obtenido en: <http://platea.pntic.mec.es/~jojimene/EsquemaEDAR.PDF> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

SANZ, F. M. La gestión de las aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellón. Obtenido en: <http://www.ces.gva.es/pdf/conferencias/02/8.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

SARTOR, A. Y CIFUENTES, O. Propuesta de Ley Nacional para Reúso de Aguas Residuales. En: ° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente – AIDIS Argentina – Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (18°, 18 y 20 de abril 2012). Buenos Aires, Argentina. Obtenido en:

http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/aidis_ley_reuso_aguas.pdf [Consulta: 4 de julio de 2014]

SEMENAS, L. et al; BRUGNI, N.; VIOZZI, G. Y KREITER, A. Monitoreo de parasitos en efluentes domiciliarios. Revista de Saúde Pública. 33 (4): 379-84, agosto 1999. Obtenido en:

http://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0034-89101999000400009&script=sci_arttext
[Consulta: 6 de junio de 2013]

SILVA, J.; TORRES, P. Y MADERA, C. *Reúso de aguas residuales domesticas en agricultura*. Revista Agronomía Colombiana, 26 (2):347-359, 2008. Obtenido en: <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf> [Consulta: 14 de agosto de 2013]

SUEMATSU, G.L. *Impacto ambiental de los proyectos de uso de aguas residuales*. CEPIS/OPS (1995). Obtenido en:

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon5.pdf>
[Consulta: 1 de julio de 2010]

TORTORELLI, MARIA DEL CARMEN. *Tratamiento de Efluentes*. Cátedra: Técnicas de Remediación Ambiental. Maestría en Intervención Ambiental. Universidad Nacional del Comahue.

UNIVERSIDAD DE CHILE – DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL – DIVISION DE RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE. *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego*. Año 2005. Obtenido en: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/resumen_ejecutivo.pdf [Consulta: 9 de febrero de 2015]

VELIZ LORENZO, E. *et al. Reúso de aguas residuales para riego agrícola. Valoración crítica*. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 40, No. 1, 2009. Obtenido en: <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Saneamiento/Reuso%20de%20efluentes%20en%20riego%20CEPIS.pdf> [Consulta: 9 de junio de 2015]

VISO RODRIGUEZ, A. Reutilización de aguas residuales para riego. Tendencias tecnológicas. En: Jornadas sobre tratamiento de aguas residuales Industriales conectadas a Redes Públicas de Alcantarillado. Año 2005. Obtenido en: <http://www.esamur.com/jornadas/ponencias/ponencia44.pdf> [Consulta: 9 de febrero de 2015]

WSP (Water and Sanitation Program), 2006. Biofiltro: una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Obtenido en: <http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/biofiltro.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACOSTA, C. Contaminación por bacterias patógenas en suelos irrigados con efluente de un sistema de lagunas de estabilización. En: Seminario Internacional “Gestión integrada de servicios relacionados con el agua en asentamientos nucleados”. Obtenido en: http://objetos.univalle.edu.co/files/contaminaci%C3%B3n_suelos_irrigados.pdf [Consulta: 4 de marzo de 2011]

ALVAREZ, A.; FASCILOLO, G.; BARBAZZA, C.; LORENZO, F. Y BALANZA, M.E. Impactos en el agua subterránea de un sistema de riego de efluentes para riego. El sistema Paramillos (Lavalle, Mendoza, Argentina). Rev. FCA UNCuyo. (2): 61-81. Año 2008. Obtenido en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2720/alvarezagrarias2-08.pdf [Consulta: 7 de julio de 2014]

ALVAREZ BERNAL, D.; CONTRERAS RAMOS, S.M. Y POGGI VARALDO, H.M. Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo. Avance y Perspectiva Vol.21:333-40, septiembre/octubre de 2002. Obtenido en: http://www.agua.org.mx/h2o/images/stories/tecnologias_del_agua/sistema%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf [Consulta: 31 de agosto de 2009]

ALVAREZ VEGA, F. Filtros verde. Un sistema de depuración ecológico. Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental (1): 25 – 28. Año 2000. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/filtverd.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

AYERS, R.S. Y WESTCOT, D.W. *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985. Obtenido en: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/T0234E00.HTM> [Consulta: 13 de agosto de 2014].

BARAÑAO, P.A. Y TAPIA, L.A. Tratamiento de las aguas servidas: Situación en Chile. *Revista Ciencia & Trabajo*. 6 (13): 111-17, julio/septiembre 2004. Obtenido en: <http://www.sigweb.cl/biblioteca/TratamientoAguasServidas.pdf> [Consulta: 6 de junio de 2013]

BARBEITO ANZORENA, E. Estudio general del caso Campo Espejo del aglomerado Gran Mendoza, República Argentina. Año 2001. Proyecto Regional: Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IRDC-OPS/HEP/CEPIS. 2000 – 2002. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/mendoza.pdf> [Consulta: 11 de junio de 2013]

BARRERA, V. Viabilidad de la calidad del agua y su impacto en los proyectos de optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tesis (Ingeniero Industrial). Universidad Yacambú, Facultad de Ingeniería. Barquisimeto, Año 2005. 77 pp. Obtenido en: <http://www.gestiopolis.com/impacto-calidad-agua-optimizacion-plantas-tratamiento-aguas-residuales/> [Consulta: 2 de septiembre de 2012]

BASSALETTI MEJÍAS, J. Biofiltros y su eficiencia en la remoción de fósforo disuelto. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). Chile. Obtenido en:

<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR35540.pdf> [Consulta: 6 de junio de 2013]

BERNAL, D. P., CARDONA D.A., GALVIS, A Y PEÑA, M.R. *Guía de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domesticas por métodos naturales*. En: Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de aguas Residuales. Cali, Colombia, Instituto Cinara, Universidad del Valle. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/berna.pdf> [Consulta: 8 de abril de 2013].

BOLETÍN OFICIAL PROVINCIA DE MENDOZA. (2000). *Resolución N°778/96 H.T.A – D.G.I. Reglamento General para el control de contaminación hídrica*. Obtenido en: <http://www.gobernac.mendoza.gov.ar/boletin/> [Consulta: 8 de agosto de 2014]

BUSTAMANTE, I. *et al. Una decisiva tarea previa*. Rev. Seguridad y Medio Ambiente (117): 36 – 49. Año 2010. Obtenido en: http://www.europeana.eu/portal/record/2022701/oai_documentacion_mapfre_es_120294.html [Consulta: 13 de agosto de 2014]

CALCAÑO, A.; MENDIBURO, N. Y GAVIÑO NOVILLO, M. *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. Año 2000*. World Water Visión. Obtenido en: <http://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inar00200.pdf> [Consulta: 19 de mayo de 2014]

CASTRO MELIZADE, B. *Estudio general del caso: Portoviejo, Ecuador*. Proyecto Integral: Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IRDC – OPS/HEP/CEPIS – Año 2001. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/portovie.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Obtenido en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf> [Consulta: 8 de abril de 2014]

CEPIS. *Validación de Lineamientos para mejorar la Gestión del agua residual y hacer más sostenible la protección de la Salud*. En: Taller Sudamericano. Lima, Perú. Año 2005. Obtenido en: www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/lineamientos/ppt/metodologia.ppt [Consulta: 11 de junio de 2014]

CLARIN (2013, 11 de noviembre). *Amarán una ciudad alrededor del yacimiento de Vaca Muerta*. Obtenido en: http://www.ieco.clarin.com/economia/Armaran-alrededor-yacimiento-Vaca-Muerta_0_1027697248.html [Consulta: 1 de agosto de 2014]

CIRIA CIRIA, M. P. *Desarrollo de los cultivos energéticos leñosos en España*. Rev. Vida Rural (2): 10-15. Año 2011. Obtenido en: https://www.researchgate.net/publication/271847566_Desarrollo_de_los_cultivos_energeticos_leñosos_en_Espana [Consulta: 13 de agosto de 2014]

CISTERNA OSORIO, P. Y PEÑA, D. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII Región. Chile. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf> [Consulta: 27 de octubre de 2015]

COMMET AMBRIZ, M.A.; ORTA de VELAZQUEZ, M.T. Y MONJE RAMIREZ, I. Efectos del cloro sobre las propiedades físicas y químicas del agua residual. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01381e14.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (28 °, 2002, Cancún, México). Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. CEPIS/OPS. Año 2002 Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/matedu/cancu.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

DAHBAR, M. O. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Argentina. Proyecto Regional: Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en America Latina: Realidad y Potencial. Convenio IRDC-OPS/HEP/CEPIS. 2000 – 2002. Obtenido en: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/inventario/arg_in.pdf [Consulta: 15 de mayo de 2013]

DAUTAN, R. et al. Diseño y construcción de un reactor discontinuo secuencial para remoción de DBO. En: XXVI Congreso Interamericano de AIDIS. Lima, Perú, Noviembre 1988. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/ventar005.pdf> [Consulta: 16 de agosto de 2013] [Consulta: 27 de octubre de 2015]

DE BUSTAMANTE GUTIERREZ, I. ET. AL. Adaptación de los filtros verdes: de estaciones depuradoras de agua (EDAR) a estaciones de regeneración y reutilización de aguas depuradas (ERRAD). Obtenido en: <http://www.consolides-tragua.com/eventos/ADECAGUA/COMUNICACIONES/R1-BUSTAMANTE.pdf> [Consulta: 16 de agosto de 2013]

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), UNITED STATES. 2012. *Guidelines for Water Reuse*. Obtenido en: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014].

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro. EPA 832-F-99-062, septiembre de 1999. Obtenido en: http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf [Consulta: 1 de julio de 2010]

EPAS (Ente Provincial de Agua y Saneamiento). Resolución N° 181/00. *Norma de calidad para el control de los vertidos de aguas residuales*. Provincia de Neuquén.

EPAS (Ente Provincial de Agua y Saneamiento). Resolución N° 0709/11. *Control de la calidad del efluente emitido por las plantas de tratamiento modulares*. Provincia de Neuquén.

ESCALANTE, V. et al. El reúso de agua residual tratada en México. En: Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf> [Consulta: 31 de agosto de 2013]

ESPINOZA PAZ, R. E. Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores. Tesis (Máster en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura, Año 2010. 279 pp. Obtenido en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/29571C95BEF797F705257DCC0053233E/\\$FILE/MAS_GAA_010.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/29571C95BEF797F705257DCC0053233E/$FILE/MAS_GAA_010.pdf) [Consulta: 8 de mayo de 2014]

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Water Quality Management and control of wáter pollution. Obtenido en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr21.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Users manual for irrigation with treated wastewater. Obtenido en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5009e/y5009e00.htm> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FARO, B.J. Aspectos institucionales para la utilización de efluentes domésticos en riego de cultivos. Obtenido en: [file:///C:/Users/User/Downloads/Pla_-_182_-_CONAGUA_2005%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Pla_-_182_-_CONAGUA_2005%20(1).pdf) [Consulta: 7 de agosto de 2013]

FASCIOLO, G.E.; GABRIEL, E.; MORÁBITO, J. Y TOZZI, F. Impactos agroeconómico del riego con efluentes domésticos tratados en cultivos de ajo y cebolla. Obtenido en: <http://ww.w.ina.gov.ar/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-5-Fasciolo.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FASCIOLO, G.; GABRIEL, E.; MECA, M.I. Y LIPINSKI, V. Riego con efluentes tratados: aceptabilidad sanitaria para un cultivo de ajo. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-013.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FASCIOLO, G.; GABRIEL, E.; MECA, M.I. Y LIPINSKI, V. Riego con efluentes tratados: potencial fertilizante para un cultivo de ajo. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-013.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

FERREIRA DA FONSECA, A. et al. Reúso Agrícola De Las Aguas Residuales Tratadas: Implicaciones Y Perspectivas Agronómicas Y Ambientales Para Brasil. *Revista Scientia Agrícola*. 64 (2), 2007. Obtenido en: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162007000200014> [Consulta: 3 de julio de 2014]

FERRER, C. et al. Análisis comparativo entre procesos de tratamiento de agua residual de pequeñas poblaciones de la provincia de Castellón. *Tecnología del agua* 294, marzo de 2008. Obtenido en: http://www.sitra.es/sites/default/files/tratamiento_AR.pdf [Consulta: 8 de abril de 2014]

FUENTE BADA, M. et al. Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales en el Municipio de San Jorge (Nicaragua). Tesis (Master en Ingeniería y Gestión Ambiental). Universidad de, Facultad de Ingeniería. Nicaragua, Año 2010. 99 pp. Obtenido en: <http://www.eoi.es/savia/documento/eoi-48425/disenio-de-un-sistema-de-depuracion-de-aguas-residuales-en-el-municipio-de-san> [Consulta: 16 de agosto de 2014]

GARCIA, J. El cultivo de las Salicáceas en los valles irrigados de la Patagonia, pasado, presente y futuro. En: Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Obtenido en: http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/_archivos/_biblioteca/GARCIA_J_D.pdf [Consulta: 7 de agosto de 2013]

MARTÍN GARCIA, I. et. al. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes. Obtenido en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2014]

MINISTERIO DE ECONOMIA Y COMPETITIVIDAD – GOBIERNO DE ESPAÑA. Ejemplos prácticos de reutilización de agua residual tratada y regenerada para el riego de cultivos. Evaluación de riesgo. Obtenido en: http://www.consolider-tragua.com/documentos/ejemplos_practicos_riego.pdf [Consulta: 7 de agosto de 2013]

GIOVANARDI, F. *Forestación con Salicáceas utilizando el reúso de efluentes cloacales urbanos tratados*. AIC (Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro). Obtenido en: http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/_archivos/_biblioteca/Giovanardi_reuso.pdf [Consulta: 7 de agosto de 2013]

GUTIERREZ, O.S. Y RODRIGUEZ VELO, J. N. Digestión de aguas residuales, en cámaras modulares compactas por acción combinada anaeróbica y aeróbica. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 6 (1): 34-38, 2002. Obtenido en: <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t006-a007.pdf> [Consulta: 6 de julio de 2013]

HIDALGO SANTANA, M. Y MEJÍA ÁLVAREZ, E. Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la Quebrada La Macana, San Antonio de Pedro. Municipio de Medellín. Tesis (Especialistas en Gestión Ambiental). Universidad de Antioquía, Facultad de Ingeniería. Medellín, Año 2010. 68 pp. Obtenido en: <http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguaResidualesDomesticasCuencaBajaQuebradaMacanaSanAntonioPrado.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

HUERTAS, R. et al. Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 2006. Obtenido en: <http://publicacionesoficiales.boe.es/> [Consulta: 20 de octubre de 2010]

JARAMILLO, M. F. Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el Valle geográfico del río Cauca. Universidad del Valle – Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali, 2010. Obtenido en: <http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5->

[3 GEN PHD D5.3.12 MSc Jaramillo Reuse of domestic wastewater.pdf](#) [Consulta: 20 de julio de 2010]

JÖRG E. DREWES *et al.* (2009). *An Integrated Framework for Treatment and Management of Produced Water*. Technical Assessment Of Produced Water Treatment Technologies. 1st Edition. Obtenido en: http://aqwaterc.mines.edu/produced_water/treat/docs/Tech_Assessment_PW_Treatment_Tech.pdf [Consulta: 16 de julio de 2014].

KIERSCH, B. Y ROMÁN, P. Reutilización de aguas servidas en la agricultura en America Latina. Water Week Latinoamerica. Obtenido en: <http://es.slideshare.net/pilarroman35/estudiodelpotencialdelusodeaguasresidualesenagriculturaenargentina> [Consulta: 9 de mayo de 2015].

LA NACION (2014, 1 de mayo). *Neuquén revive de la mano de Vaca Muerta*. Obtenido en: <http://www.lanacion.com.ar/1686495-neuquen-revive-de-la-mano-de-vaca-muerta> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

LASSO, J. Y RAMIREZ, J. L. *Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia*. Rev.: El Hombre y la Máquina. No 36. Enero – Junio 2011. Obtenido en: <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/36%202011-1/Articulo%208%20-%20Jose%20L.%20Ramirez.pdf> [Consulta: 19 de noviembre de 2014]

LA VOZ. (2014, 25 de mayo). *La fiesta de vaca muerta*. Obtenido en: <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/la-fiesta-de-vaca-muerta> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

LEY PROVINCIAL N° 1875 (T.O. LEY 2267). *Ley sobre preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente*. Neuquén, Argentina. Obtenido en: [http://www4.neuquen.gov.ar/ma/normativa/ley_1875/1875\(TO2267\).pdf](http://www4.neuquen.gov.ar/ma/normativa/ley_1875/1875(TO2267).pdf) [Consulta: 15 de marzo de 2014]

LEY PROVINCIAL N° 899/75. *Código de aguas de Neuquén*. Neuquén, Argentina. Obtenido en: http://fracking.cedha.net/wp-content/uploads/2013/09/Ley_Aguas_899_NQ.pdf [Consulta: 10 de junio de 2014]

LEY NACIONAL N° 24.051. *Ley de Residuos Peligrosos*. Argentina. Obtenido en: <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/450/texact.htm> [Consulta: 14 de marzo de 2014]

LOS ANDES (2013, 11 DE NOVIEMBRE). *Proyectan construir una ciudad alrededor de Vaca Muerta*. Obtenido en: <http://archivo.losandes.com.ar/notas/2013/11/11/proyectan-construir-ciudad-alrededor-vaca-muerta-749551.asp> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

MANGA, J.; LOGREIRA, N. Y SERRALT, J. *Reúso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible*. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 9:12-21, 2001. Obtenido en: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/9/reuso_de_aguas_residuales.pdf [Consulta: 4 de julio de 2014]

MARA, D. Y CAIRNCROSS, S. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection. WHO, Genova 1989. Obtenido en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41681/1/9241542489.pdf> [Consulta: 4 de julio de 2014]

MARTÍN GARCÍA, I. et al. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes. Abril de 2006. Obtenido en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf> [Consulta: 8 de abril de 2014]

MARTINEZ CORTIJO, F. Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo de arroz. Aplicación a una línea de riego en el parque natural de la Albufera (Valencia). Tesis (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica Valencia. Valencia, Año 2003. 355 pp. Obtenido en: https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi56Lv6wJ_LAhWCD5AKHWueARUQFgggMAE&url=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F38757%2FMart%25C3%25ADnez%2520%2520Estudio%2520agron%25C3%25B3mico%2520y%2520ambiental%2520del%2520riego%2520con%2520aguas%2520residuales%2520depuradas%2520en%2520el%2520cultivo%2520....pdf%3Fsequence%3D13&usq=AFQjCNHv5v_YVQ1Wdj3J10xS9tIYW0Higg [Consulta: 19 de noviembre de 2014]

MEDINA HOYOS, R. Pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (aplicación en países andinos) basadas en el reactor anaerobio a pistón RAP-100 (CH). Experiencias a escala real. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cochabamba, año 2000. Obtenido en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=29025&indexSearch=ID> [Consulta: 8 de abril de 2014]

METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I y II*. Editorial McGRAW-HILL. México, 1996.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA. FAO. Estudio del potencial del uso alternativo de fuentes de agua: las aguas residuales en Argentina. Obtenido en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/aguasresiduales/REUS_O_SEGURO_DE_AGUAS_RESIDUALES_EN_ARGENTINA.pdf [Consulta: 24 de noviembre de 2014]

MONTALVO MARTINEZ, S. J.; GUERRERO SADES, L. Y OLIVARES GINER, P. *Eliminación de nitrógeno y fósforo mediante un sistema integrado de zeolitas naturales y cal*. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01381e14.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

MOSCOSO CAVALLINI, J.C. Estudio de opciones de tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima metropolitana. Ministerio federal de educación e investigación.

Lima, 2011. Obtenido en: http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf [Consulta: 1 de julio de 2010]

MOSCOSO CAVALLINI, J.C. Y EGOICHEAGA YOUNG, L. *Avances del inventario regional de la situación de las aguas residuales domésticas en América Latina*. Lima, 2004. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/inventario-resumen.pdf> [Consulta: 23 de agosto de 2013]

MOSCOSO CAVALLINI, J.C. Proyecto Integral: Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (28 °, 2002, Cancún, México). Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/matedu/cancu.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

MOSCOSO, J. Aspectos técnicos de la forestación con aguas residuales. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/moscoso2.pdf> [Consulta: 21 de noviembre de 2014]

NAVARRO FROMETA, A., PEÑA CALVA, A., ROSAS LOPEZ, E., CID ORTEGA, S. Estudio comparativo de las descargas de aguas residuales de las ciudades de Izúcar de Matamoros y Atlixco, Puebla. Obtenido en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Resumen/CA/RO/CAO-29.pdf [Consulta: 1 de julio de 2010]

NOYOLA, A. Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Cali, Colombia. Obtenido en: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_10-56-24111048.pdf [Consulta: 13 de agosto de 2014]

OLEA MADRUGA, R. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Veracruz. Tesis (Programa Educativo: Ingeniería Ambiental). Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Veracruz, Año 2013. 86 pp. Obtenido en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33930/1/oleamadrugarosa.pdf> [Consulta: 16 de noviembre de 2014]

OMS (Organización Mundial de la Salud). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes técnicos 778. Organización Mundial de la Salud, Ginebra 1989. Obtenido en: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_778_spa.pdf [Consulta: 13 de agosto de 2013]

OMS (Organización Mundial de la Salud). *Guidelines For The Safe Use Of Wastewater And Excreta In Agriculture And Aquaculture: Measures For Public Health Protection*. Obtenido en: http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wastreusexecsum.pdf?ua=1 [Consulta: 13 de agosto de 2014].

PEÑA, M. R. *Pequeños sistemas para el tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Cali, Colombia. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/latin.pdf> [Consulta: 13 de agosto de 2014].

PEÑA PRIETO, L.E.; MUÑOZ MARTINEZ, M. Y ESPINOSA CORREA, A.M. Tratamiento de aguas residuales municipales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. *Revista Científica*. (3): 91-112, 2001. Obtenido en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/325/476> [Consulta: 5 de julio de 2013]

PEPE, U. Y LOMBARDI, M.O. Tratamiento alternativo de efluentes cloacales individuales. *En: 13° Congreso Argentino de Saneamiento y Medioambiente*. Obtenido en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina13/cong27.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

PEREZ, M. L. et al. *En: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (28 °, 2002, Cancún, México)*. Remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales utilizando un reactor discontinuo secuencial (SBR). Año 2002_Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-106.pdf> [Consulta: 6 de junio de 2013]

PEREZ PARRA, J. Depuración y reutilización de aguas residuales para riego. *Publicaciones Cajamar*. Año 2003. Obtenido en: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/depuracion-y-reutilizacion-de-aguas.pdf> [Consulta: 27 de octubre de 2015]

PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agricultura. FAO, Roma 1992. Obtenido en: http://eprints.icrisat.ac.in/8638/1/RP_07946_wastewater_treatment.....pdf [Consulta: 30 de enero de 2015]

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Situación actual del agua en América Latina y el Caribe. Año 2003. Obtenido en: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/6384-administracion-del-agua-en-america-latina-y-el-caribe-en-el-umbral-del-siglo-xxi> [Consulta: 9 de mayo de 2015]

PRATS RICO, D. Conceptos generales sobre reutilización. Calidad del agua y usos posibles. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/prats.pdf> [Consulta: 7 de julio de 2014]

PROYECTO INTEGRACIÓN Y DESARROLLO MESOÁMERICA. Proyecto Tratamiento de Aguas Residuales para Reuso Productivo en Mesoamérica. 2013. Obtenido en: <http://www.proyectomesoamerica.org/joomla/images/Documentos/DOCUMENTO%20INTEGRADO%20DE%20REUSO%20AGUA.pdf> [Consulta: 13 de noviembre de 2014]

RAMOS, C.; ESPINOZA, M. C. Y LÓPEZ, M. Diseño y evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales biotecnológicas. Obtenido en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/ramos.pdf> [Consulta: 6 de junio de 2013]

RAUQUE, ELIANA: Apuntes de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales y Lodos Activados. Año 2007.

RAUQUE, ELIANA: Informe Ambiental de Plantas Móviles de Tratamiento. Año 2007.

RESOLUCIÓN N°336/03 ANEXO II. *Parámetros de la calidad de las descargas límites admisibles*. Buenos Aires, Argentina. Obtenido en: <http://www.ada.gba.gov.ar/normativa/RESOLUCIONES/RESOL336-2003.pdf> [Consulta: 13 de agosto de 2014]

REYNOLDS, K. A. *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del problema*. Agua Latinoamericana Septiembre/Octubre. Año 2002. Obtenido en: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf> [Consulta: 9 de mayo de 2014]

RIO NEGRO (2014, 13 DE JULIO). *Efecto Vaca Muerta: Añelo duplica su población en horas laborales*. Obtenido en: http://www.rionegro.com.ar/diario/efecto-vaca-muerta-anelo-duplica-su-poblacion-en-horas-laborales-3123726-62202-notas_energia.aspx [Consulta: 10 de agosto de 2014]

RIO NEGRO (2014, 14 DE JULIO). *En Añelo ya piensan en una ciudad que tendrá 25.000 habitantes*. Obtenido en: <http://www.rionegro.com.ar/diario/en-anelo-ya-piensan-en-una-ciudad-que-tendra-25-000-habitantes-3141836-9701-nota.aspx> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

ROMAGNOLI, S. Y THOMAS, E. *Forestación con aguas residuales tratadas: una alternativa para transformar un problema ambiental en un recurso valioso*. Rev. Salud Ambiental, núm. 64, pp. 14-21. Año 2010. Obtenido en: http://inta.gob.ar/documentos/forestacion-con-aguas-residuales-tratadas/at_multi_download/file/fyd64_forestacion.pdf [Consulta: 14 de agosto de 2013]

SCAVO, M. et al. Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto Vetiver (Vetiveria Zizanioides L.), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de Cura, Estado Aragua. Obtenido en: <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA17es.pdf> [Consulta: 23 de octubre de 2014]

SALAZAR, J. Promoción de reúso de aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes. SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento), 2011 Obtenido en: <http://www.ciudad.org.pe/downloads/2/taller.elaboracion.estrategia18nov2011/ppts/sunass.pdf> [Consulta: 4 de julio de 2014]

SANCHEZ ORTIZ, I. A. Y MATSUMOTO, T. Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. Rev. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. Vol 20 n°2: 199-222, 2012. Obtenido en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85224945005> [Consulta: 6 de noviembre de 2015]

SANDOVAL YOVAL, L. Y COLLÍ MISSET, J. *Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reuso en agricultura*. Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/colli.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

SANSOT, N. O. Y SOSA, R. A. (2005). *Tratamiento de líquidos cloacales mediante unidades depuradoras biológicas compactas, en asentamientos temporarios en Neuquén, Argentina*. Rev. Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS. Edición 83: 75-79.

SANTOS, J.A. *¿Que es una E.D.A.R.?* Obtenido en: <http://platea.pntic.mec.es/~jojimene/EsquemaEDAR.PDF> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

SANZ, F. M. La gestión de las aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellón. Obtenido en: <http://www.ces.gva.es/pdf/conferencias/02/8.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

SARTOR, A. Y CIFUENTES, O. Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. En: ° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente – AIDIS Argentina – Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (18°, 18 y 20 de abril 2012). Buenos Aires, Argentina. Obtenido en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/aidis_ley_reuso_aguas.pdf [Consulta: 4 de julio de 2014]

SECRETARIA DE AMBIENTE – PROVINCIA DE CORDOBA. Manual de interpretación de aguas. Obtenido en: <http://www.secretariadeambiente.cba.gov.ar/PDF/MANUAL%20DE%20USO%20E%20INTERPRETACION%20DE%20AGUAS.pdf> [Consulta: 4 de julio de 2014]

SEMENAS, L. et al; BRUGNI, N.; VIOZZI, G. Y KREITER, A. Monitoreo de parásitos en efluentes domiciliarios. *Revista de Saude Pública*. 33 (4): 379-84, agosto 1999. Obtenido en: http://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0034-89101999000400009&script=sci_arttext [Consulta: 6 de junio de 2013]

SERTEC ARGENTINA. Obtenido en: <Http://www.sertecargentina.com.ar> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

SILVA, HOMERO. Guías OMS uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises. Organización Panamericana de la Salud-Area de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS. Obtenido en: http://www.ministeriodesalud.go.cr/sobre_ministerio/do/productos/V%20Cont.%20Abr%202009%20a%20Nov%202009/Informe%20final%20V%20etapa-2/Proyectos%20adicionales/Anexo%20%20Productos/Anexo%202.A%20productos/Anexo%202.A.4/Base%20Datos%20ambito%20Agua/Usos%20del%20Agua/Guias%20&%20Manuales%20OMS/Guias%20OMS%20Uso%20excretas%20y%20AR/Aguas%20Residuales.%20H%20Silva.pdf [Consulta: 4 de julio de 2014]

SILVA, J.; TORRES, P. Y MADERA, C. *Reuso de aguas residuales domesticas en agricultura*. Revista Agronomía Colombiana, 26 (2):347-359, 2008. Obtenido en: <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf> [Consulta: 14 de agosto de 2013]

SORREQUIETA, A. *Aguas Residuales: Reúso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica*. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas (2004). Obtenido en: http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod_resource/content/0/2_Aguas_residuales_protegido_.pdf [Consulta: 14 de agosto de 2013]

SUBSECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Disposición N° 266/06. 17 de julio de 2006. Provincia de Neuquén.

STRAUSS, M. Reuso de aguas servidas. Implicaciones para la salud. En: Seminario – Taller Saneamiento Básico y Sostenibilidad. (4 y 12 de junio, 1998). Cali, Colombia. Obtenido en: https://www.researchgate.net/publication/237416890_Reuso_de_Aguas_Servidas_-_Implicaciones_para_la_Salud [Consulta: 9 de junio de 2015]

SUEMATSU, G.L. Impacto ambiental de los proyectos de uso de aguas residuales. CEPIS/OPS (1995). Obtenido en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon5.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

SUEMATSU, G.L. Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales. Guías de calidad de efluentes para la protección de la salud. CEPIS/OPS (1995). Obtenido en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

TELAM (2014, 27 de julio). Desarrollan un emprendimiento urbano cerca de vaca muerta. Obtenido en: <http://www.telam.com.ar/notas/201407/72571-emprendimiento-urbano-vaca-muerta-neuquen.html> [Consulta: 10 de agosto de 2014]

TORRES CRUZ, M. *Propuesta de gestión del uso y manejo de las aguas del río de la Vega de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá*. Tesis (Máster en Gestión Ambiental). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá, Año 2009. 79 pp. Obtenido en: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/721/1/eam40.pdf> [Consulta: 27 de octubre de 2014]

TORTORELLI, MARIA DEL CARMEN. *Tratamiento de Efluentes*. Cátedra: Técnicas de Remediación Ambiental. Maestría en Intervención Ambiental. Universidad Nacional del Comahue.

UNIVERSIDAD DE CHILE – DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL – DIVISION DE RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE. *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego*. Año 2005. Obtenido en: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricola/pdf_aguas/resumen_ejecutivo.pdf [Consulta: 9 de febrero de 2015]

VELIZ LORENZO, E. *et al. Reúso de aguas residuales para riego agrícola. Valoración crítica*. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 40, No. 1, 2009. Obtenido en:

<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Saneamiento/Reuso%20de%20efluentes%20en%20riego%20CEPIS.pdf> [Consulta: 9 de junio de 2015]

VISO RODRIGUEZ, A. Reutilización de aguas residuales para riego. Tendencias tecnológicas. En: Jornadas sobre tratamiento de aguas residuales Industriales conectadas a Redes Públicas de Alcantarillado. Año 2005. Obtenido en: <http://www.esamur.com/jornadas/ponencias/ponencia44.pdf> [Consulta: 9 de febrero de 2015]

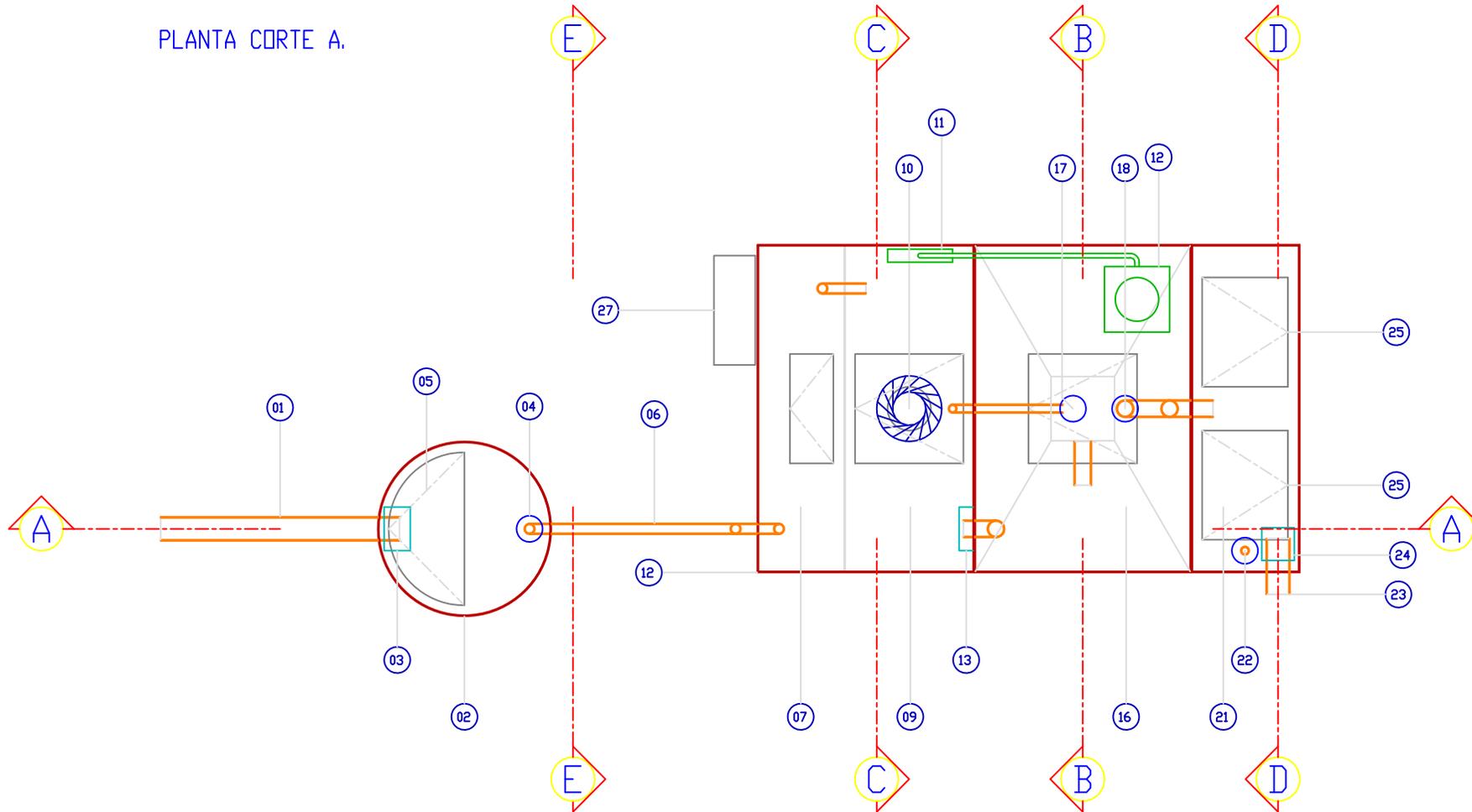
WINPENNY, J. et al. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Informe sobre Temas Hídricos FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Año 2013. Obtenido en: <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf> [Consulta: 16 de junio de 2015]

WORLD WATER COUNCIL. *Problemas de agua en Latinoamérica*. 4 th World Water Forum. Obtenido en: http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/News/WWC_News/water_problems_es_22.03.04.pdf [Consulta: 9 de febrero de 2015]

WSP (Water and Sanitation Program), 2006. Biofiltro: una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Obtenido en: <http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/biofiltro.pdf> [Consulta: 1 de julio de 2010]

ANEXO A

PLANTA CORTE A.



REFERENCIAS:

- | | | |
|--|--|---|
| 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4". | 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA. | 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6". |
| 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6". | 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY. | 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. |
| 03 FILTRO Y DESGRAZADOR. | 13 FILTRO. | 23 REBALSE 4". |
| 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H. | 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | 24 CLORINADOR. |
| 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM. | 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3". | 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM. |
| 06 MANGUERA 1 1/2" | 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6". | 26 SALIDA DE EFLUENTES. |
| 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6". | 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO. |
| 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 28 PATINES 2"7" 2 X 5". |
| 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6". | 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3". | 29 TAPA REMOVIBLE. |
| 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP. | 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | |

SOLUCIONES
AMBIENTALES S.R.L

TELEFONO 0299-4980030

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

PLANTA CORTE A
REFERENCIADA.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

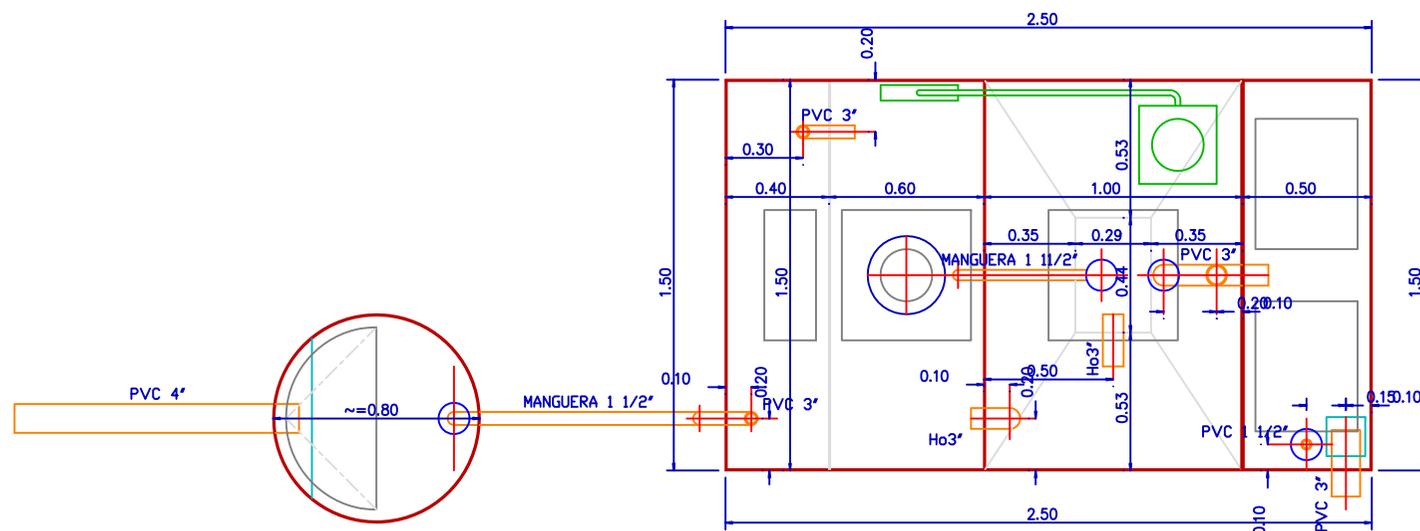
P.01

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Indupa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

PLANTA CORTE A.



obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

PLANTA CORTE A
ACOTADA.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

P.02

REFERENCIAS:

- | | | |
|--|--|---|
| 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4'. | 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA. | 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6'. |
| 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6'. | 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY. | 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. |
| 03 FILTRO Y DESGRAZADOR. | 13 FILTRO. | 23 REBALSE 4'. |
| 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H. | 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | 24 CLORINADOR. |
| 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM. | 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'. | 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM. |
| 06 MANGUERA 1 1/2" | 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6'. | 26 SALIDA DE EFLUENTES. |
| 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6'. | 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO. |
| 08 TAPA DE INSPECCION 20 CM. X 50 CM. | 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 28 PATINES 2"7" 2 X 5'. |
| 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6'. | 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'. | 29 TAPA REMOVIBLE. |
| 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP. | 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | |

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

CORTE A-A
REFERENCIADO.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

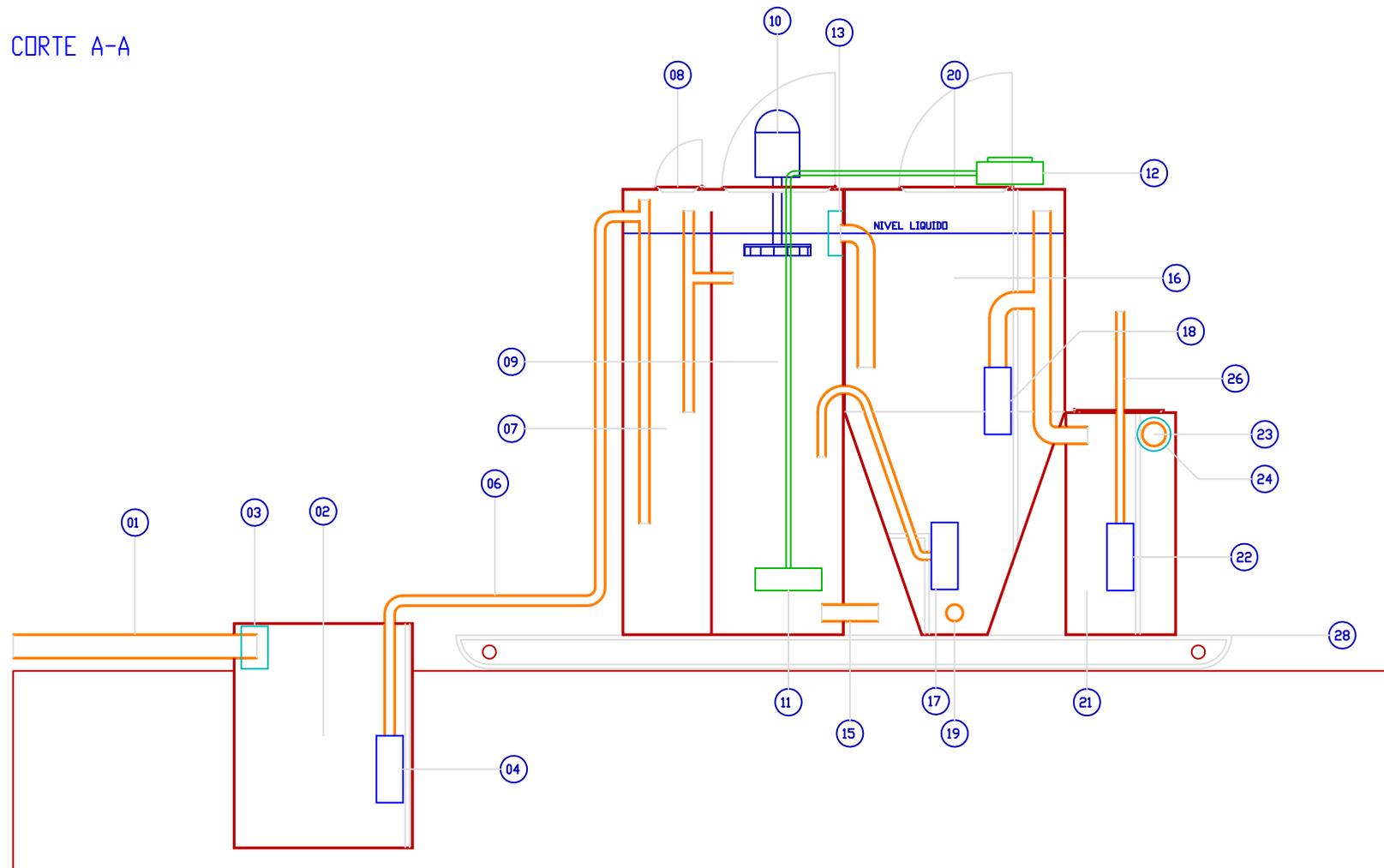
P.03

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

CORTE A-A



REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4'.
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 08 TAPA DE INSPECCION 20 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4".
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5".
- 29 TAPA REMOVIBLE.

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

CORTE A-A
ACOTADO.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

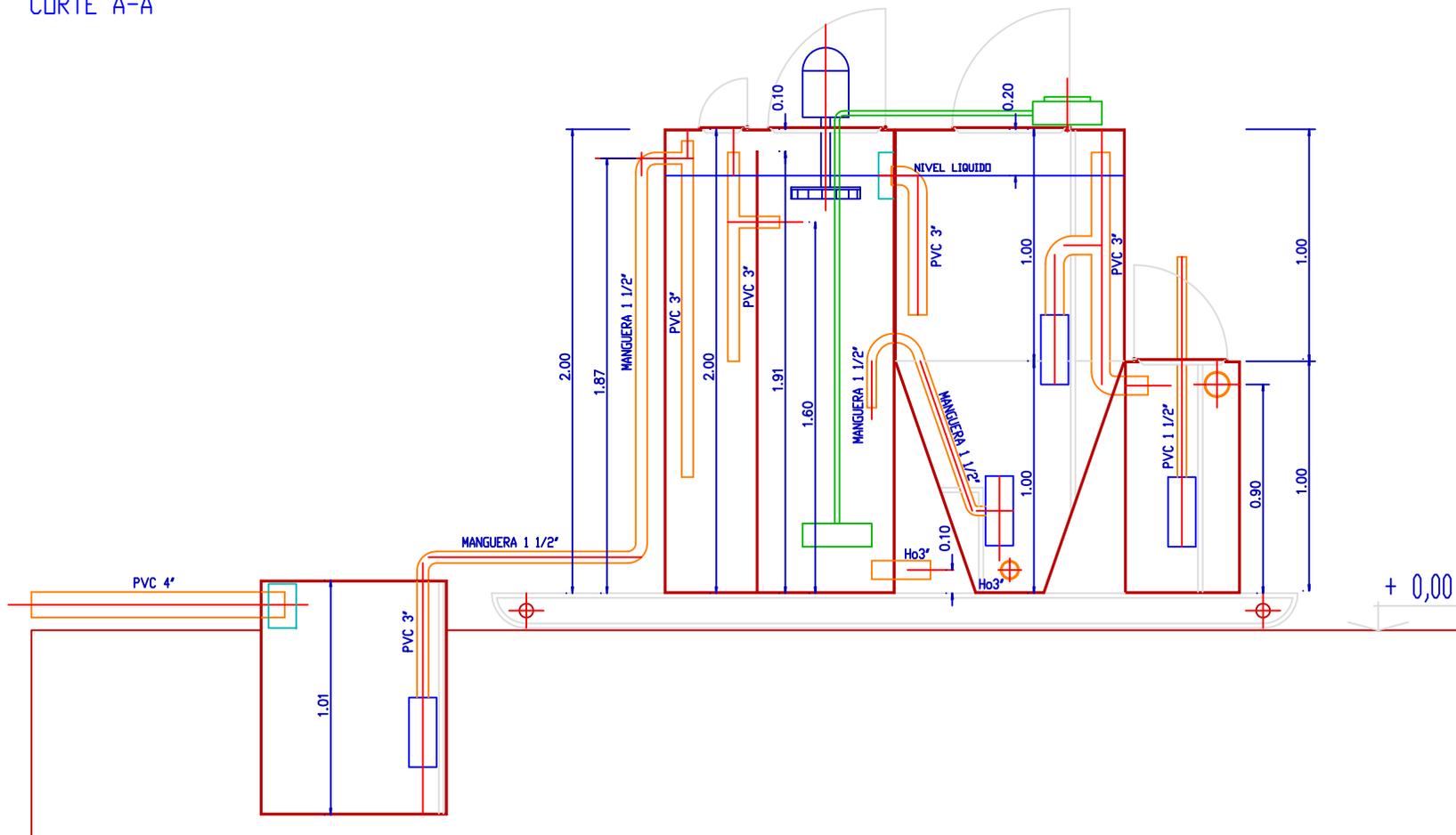
P.04

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Bo.Indupa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

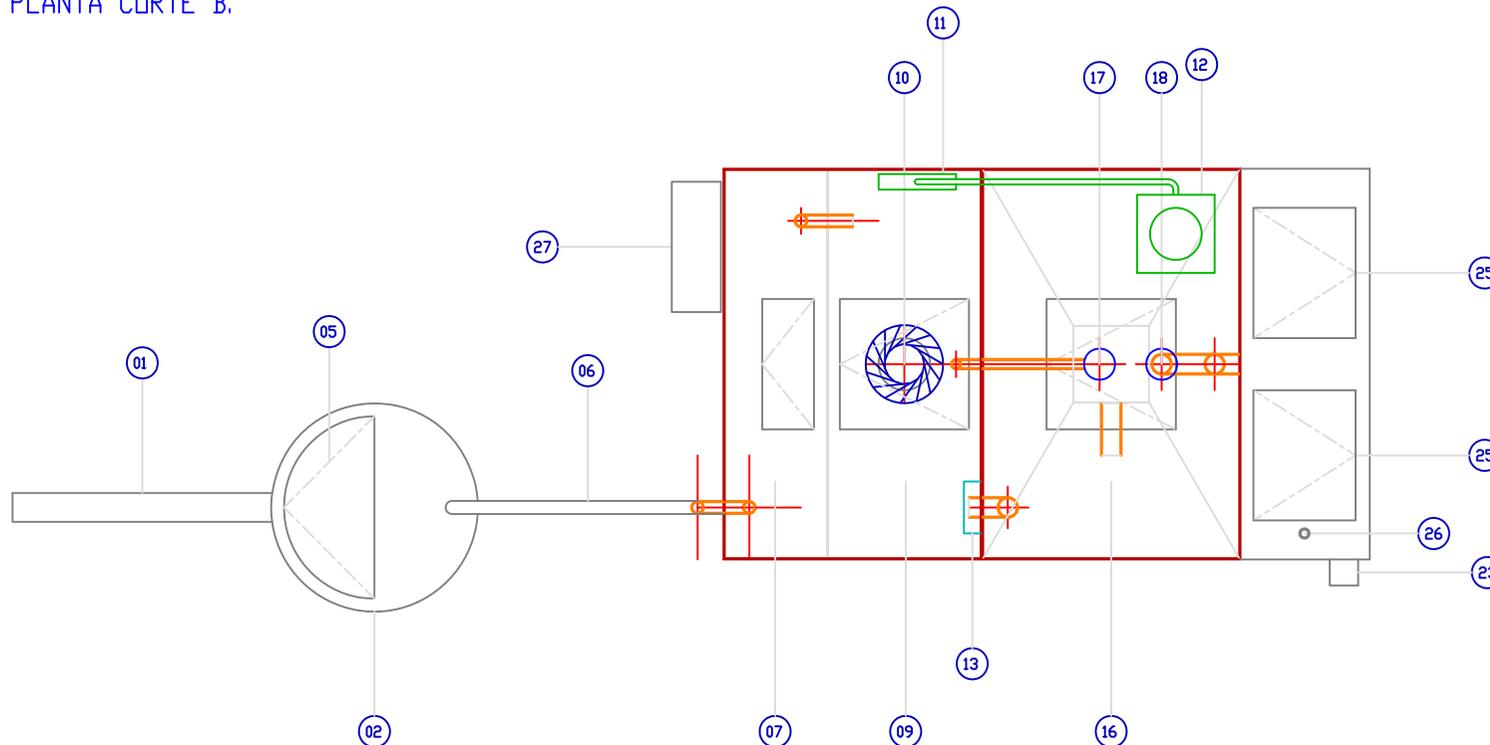
CORTE A-A



REFERENCIAS:

- | | | |
|--|--|---|
| 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4". | 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA. | 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6". |
| 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6". | 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY. | 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. |
| 03 FILTRO Y DESGRAZADOR. | 13 FILTRO. | 23 REBALSE 4". |
| 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H. | 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | 24 CLORINADOR. |
| 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM. | 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3". | 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM. |
| 06 MANGUERA 1 1/2" | 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6". | 26 SALIDA DE EFLUENTES. |
| 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6". | 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO. |
| 08 TAPA DE INSPECCION 20 CM. X 50 CM. | 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H. | 28 PATINES 2"7" 2 X 5". |
| 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6". | 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3". | 29 TAPA REMOVIBLE. |
| 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP. | 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM. | |

PLANTA CORTE B.



obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

PLANTA CORTE B
REFERENCIADA.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

P.05

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4'.
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'.
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'.
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4'.
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5'.
- 29 TAPA REMOVIBLE.

SOLUCIONES
AMBIENTALES S.R.L

TELEFONO 0299-4980030

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

PLANTA VISTA SUPERIOR
REFERENCIADA.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

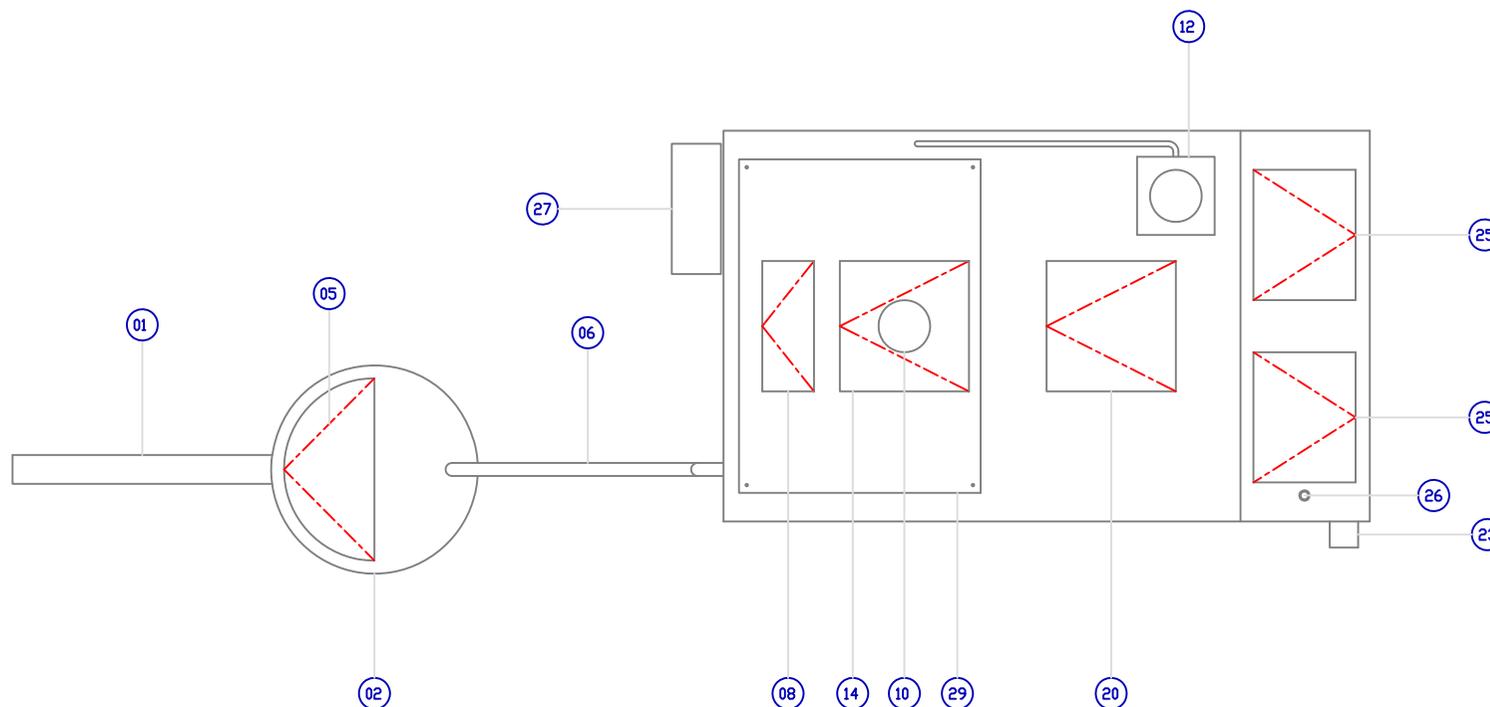
P.06

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos, Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinmario@neunet.com.ar

VISTA VISTA SUPERIOR.



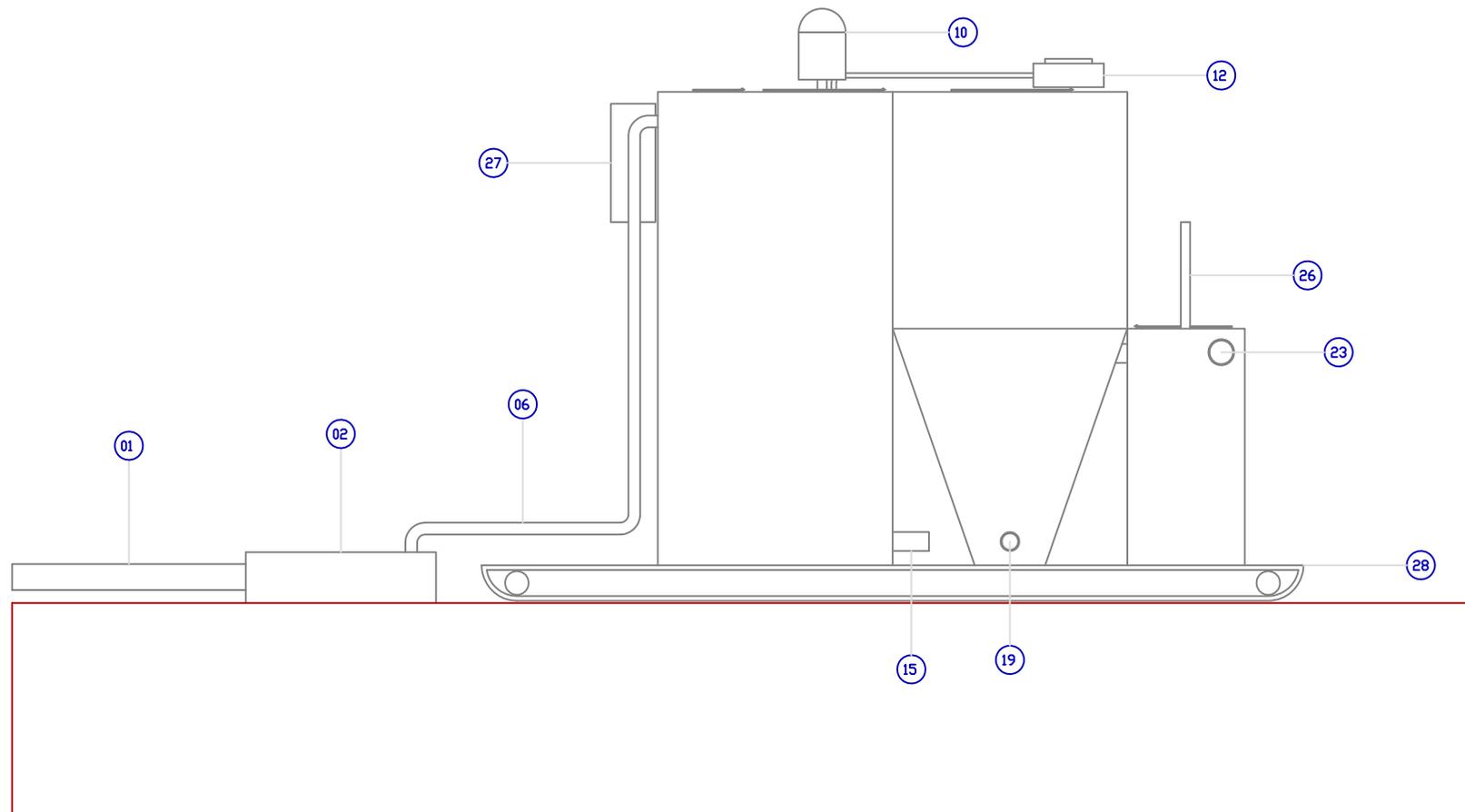
REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4".
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4".
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5".
- 29 TAPA REMOVIBLE.

VISTA A



obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

VISTA A.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

P.07

Mario Guido Lucacchi

ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos, Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchimario@neunet.com.ar

REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4".
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4".
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5".
- 29 TAPA REMOVIBLE.

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

VISTA C.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

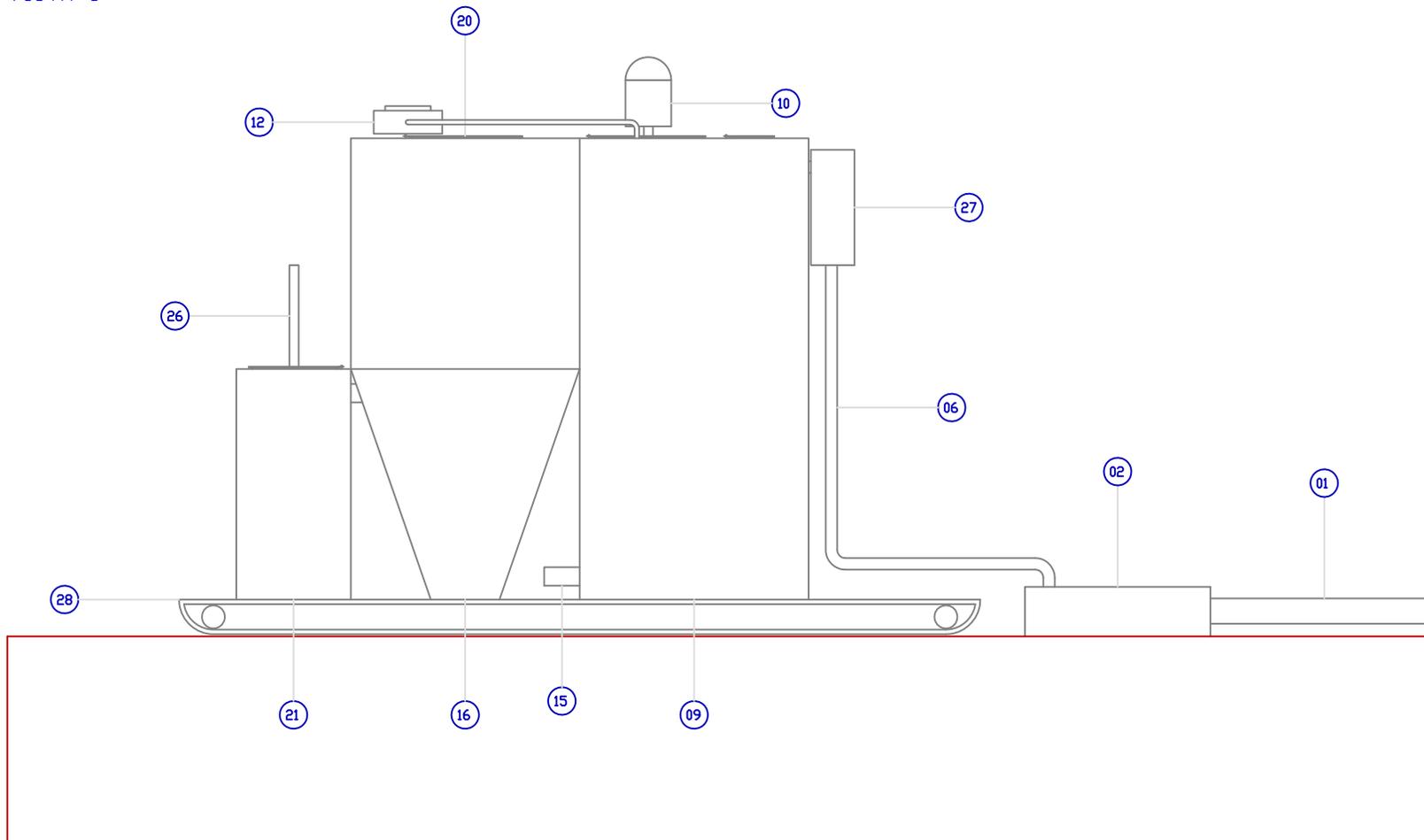
P.08

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Bo.Indupa,Cinco Saltos, Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinmario@neunet.com.ar

VISTA C



REFERENCIAS:

01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4'.
02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
06 MANGUERA 1 1/2"
07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
13 FILTRO.
14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
23 REBALSE 4".
24 CLORINADOR.
25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
26 SALIDA DE EFLUENTES.
27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
28 PATINES 2"7" 2 X 5".
29 TAPA REMOVIBLE.

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

CORTE B-B Y VISTA B
REFERENCIADOS.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

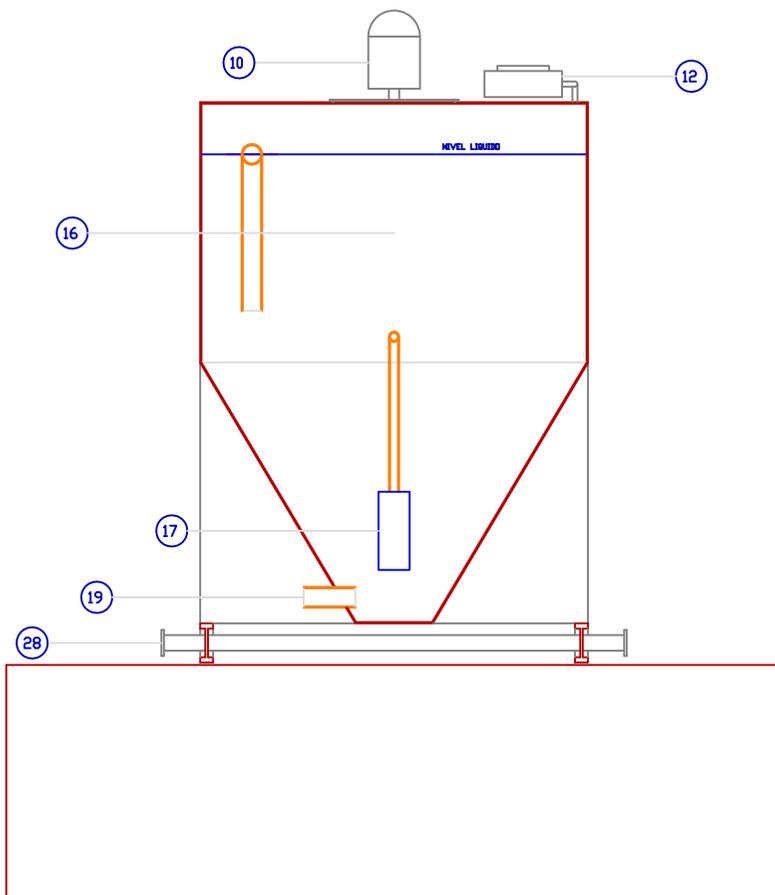
P.09

Mario Guido Lucacchini

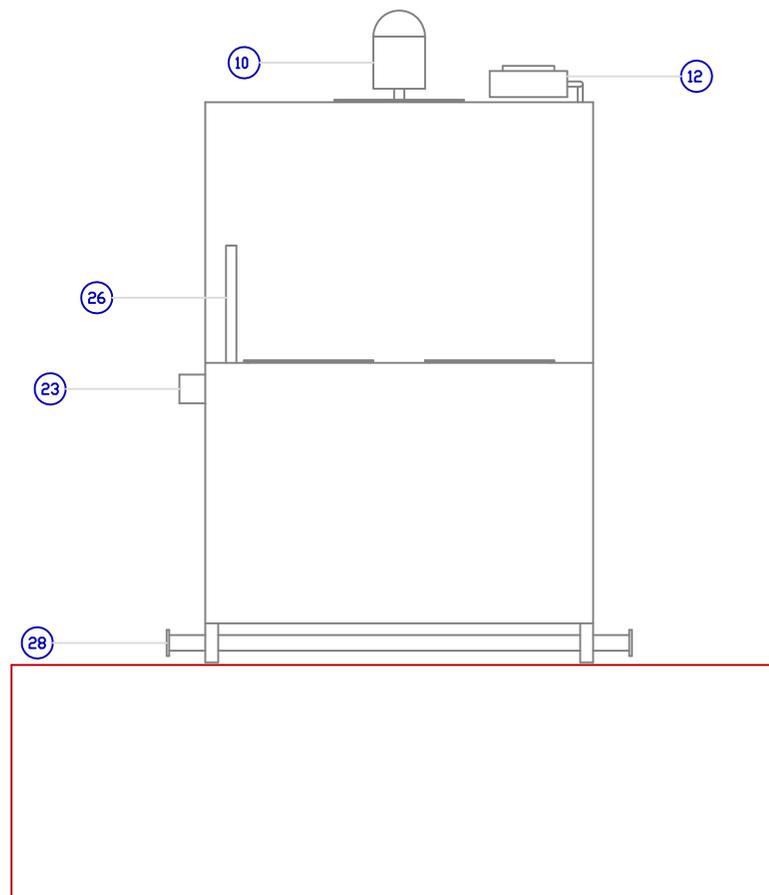
ARQUITECTO.

Ba.Induppa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

CORTE B-B



VISTA B



REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4".
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4".
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5".
- 29 TAPA REMOVIBLE.

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

CORTE C-C Y VISTA D
REFERENCIADOS.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

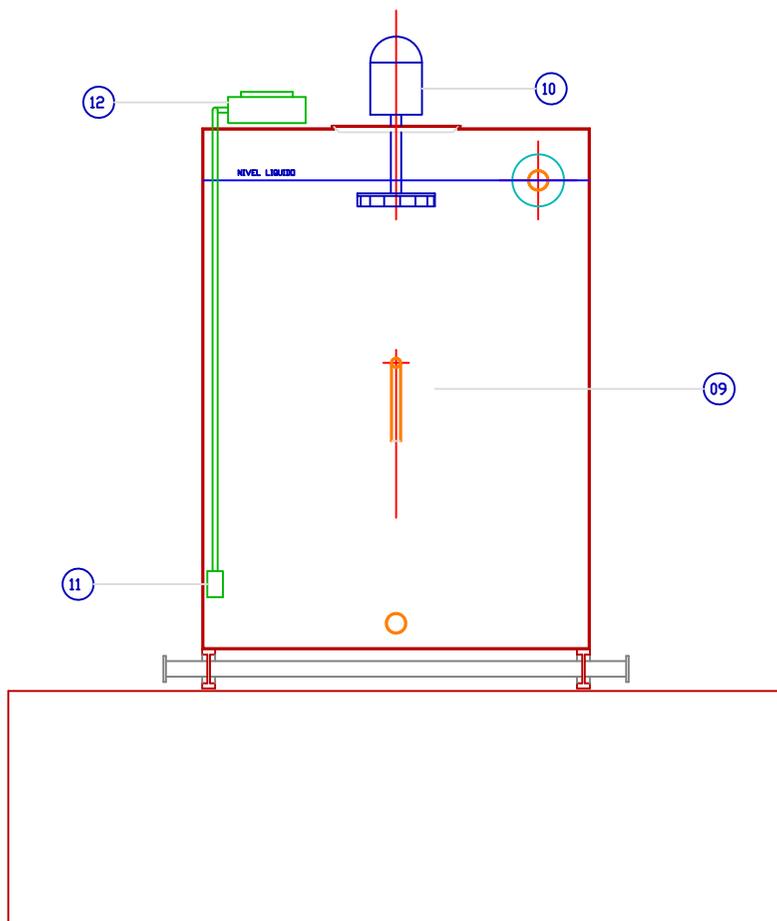
P.10

Mario Guido Lucacchini

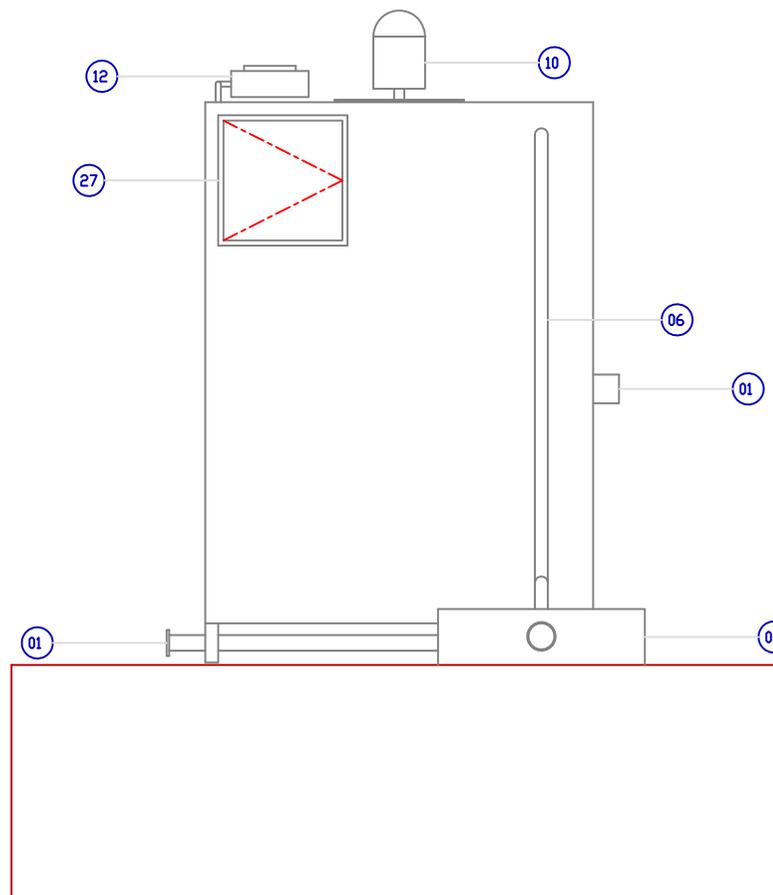
ARQUITECTO.

Bo.Indupa,Cinco Saltos, Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinmario@neunet.com.ar

CORTE C-C



VISTA D



REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4".
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3".
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6".
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4".
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5".
- 29 TAPA REMOVIBLE.

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

VISTA E-E Y CORTE
D-D REFERENCIADOS.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

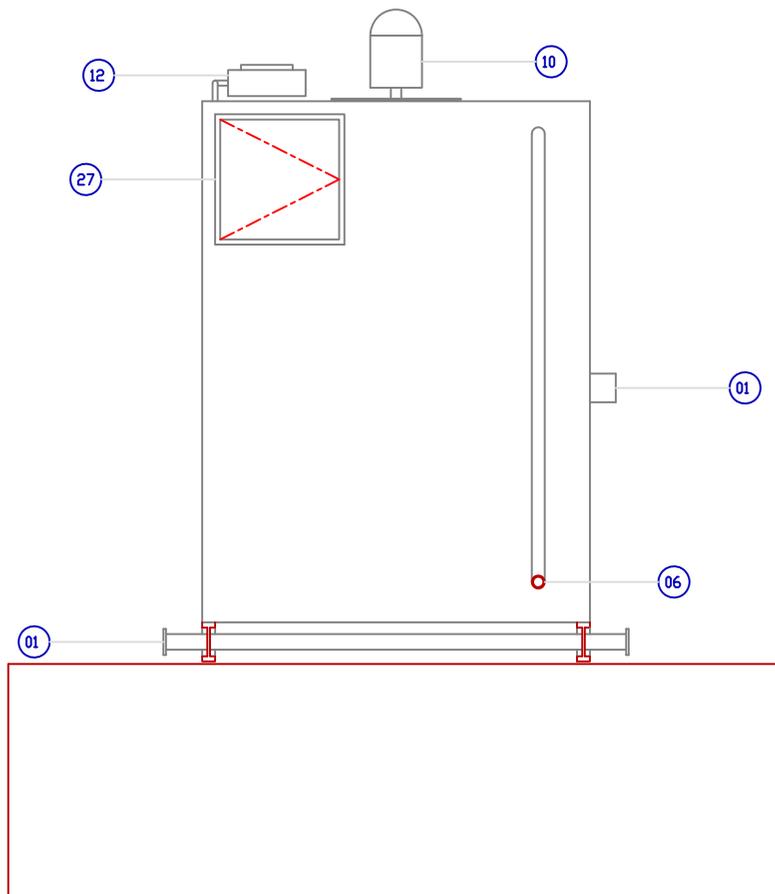
P.11

Mario Guido Lucacchini

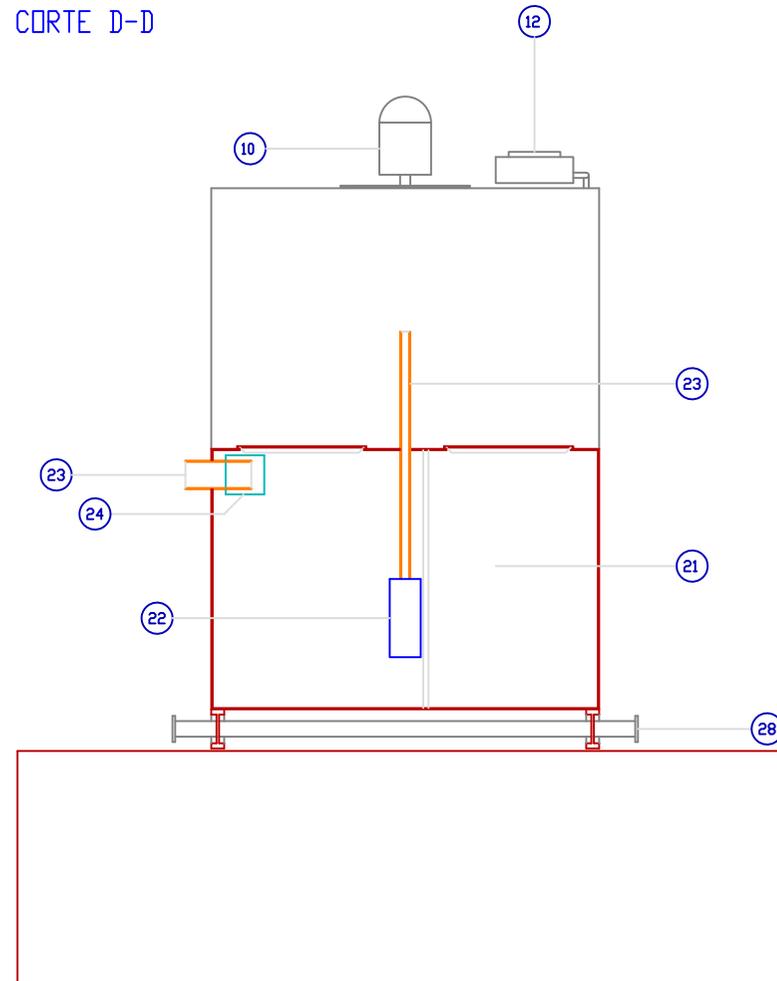
ARQUITECTO.

Bo.Indupa,Cinco Saltos, Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinmario@neunet.com.ar

CORTE E-E



CORTE D-D



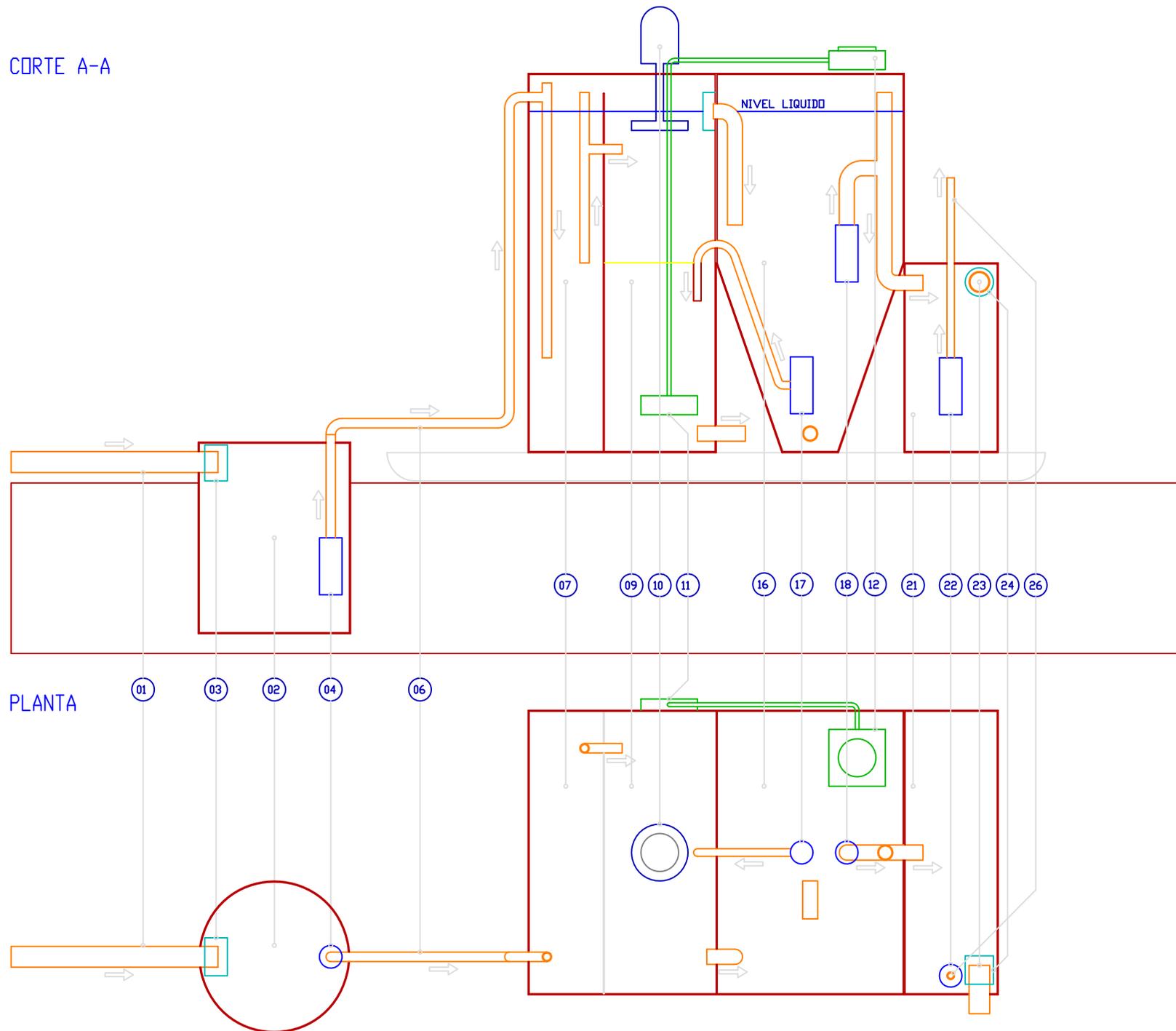
REFERENCIAS:

- 01 ENTRADA DESDE RED CLOACAL DIAM.4'.
- 02 CAMARA RECEPTORA O TANQUE PRIMARIO CAP.500 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 03 FILTRO Y DESGRAZADOR.
- 04 BOMBA TRITURADORA Y EXPULSORA 3000 LTS./H.
- 05 TAPA DE INSPECCION DIAMETRO 70 CM.
- 06 MANGUERA 1 1/2"
- 07 CAMARA SEPTICA CAP.900 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 08 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 09 CAMARA DE AIREACION CAP.2100 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 10 AIREADOR SUPERFICIAL MOTOREDUCTOR CON TURBINA ALUMINIO 1 HP.

- 11 DIFUSOR MEMBRANA BURBUJA FINA.
- 12 SOPLADOR R-100 1 HP MARCA REPICKY.
- 13 FILTRO.
- 14 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.
- 15 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'.
- 16 CAMARA DE CLARIFICACION CAP.2500 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 17 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 18 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 19 VALVULA DE DESAGOTE-LIMPIEZA DE FANGOS DIAM.3'.
- 20 TAPA DE INSPECCION 50 CM. X 50 CM.

- 21 CAMARA DE SALIDA Y CLORINADOR CAP.750 LTS.DE CHAPA 1/6'.
- 22 BOMBA DE PROFUNDIDAD 1 HP. CAP.3000 LTS./H.
- 23 REBALSE 4'.
- 24 CLORINADOR.
- 25 TAPA DE INSPECCION 40 CM. X 50 CM.
- 26 SALIDA DE EFLUENTES.
- 27 TABLERO COMANDOS ELECTRICO CON CONTROLADORES DE TIEMPO.
- 28 PATINES 2"7" 2 X 5'.
- 29 TAPA REMOVIBLE.

CORTE A-A



SOLUCIONES
AMBIENTALES S.R.L

TELEFONO 0299-4980030

obra:

PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES.

etapa

PROYECTO PARA
CERTIFICACION

nombre del plano

DIAGRAMA FUNCIONAL
EN PLANTA Y CORTE.

escala:

1:20

fecha:

27/04/06

version:

01

archivo:

Lopez planta depuradora

dibujo:

MGL

numero de lamina:

P.12

Mario Guido Lucacchini

ARQUITECTO.

Ba.Indappa,Cinco Saltos; Rio Negro
cp 8303 Argentina.
Tel. 0299 4983473 0299 155807800
E-mail:lucacchinimario@neunet.com.ar

ANEXO B

PLANTA MÓVIL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento secundario se le incorporo a la planta un soplador. El mismo incorpora oxígeno a la cámara de tratamiento biológico desde el fondo en forma de burbujas, lo cual mejora notablemente la eficiencia del proceso.

A continuación, se presentan las características técnicas del soplador Repicky:

MR 100

MOTOSOPLADOR / BOMBA DE VACIO

TABLA DE PERFORMANCE

Caudal de entrada y potencia absorbida en función de la velocidad y la presión diferencial

Soplador ($p_1=1.0$ bar; $t_1=20^\circ\text{C}$; $d_1=1.2$ kg/m³)

Δp (mbar)	100		200		300		400		500		600		700		800	
MOTOR	Q1 m3/h	P HP														
1,5 HP-1500 RPM	30,6	0,3	25,2	0,4	21	0,6	17,4	0,8								
3 HP - 3000 RPM	73,5	0,5	68,4	0,9	64,2	1,2	60,6	1,6	57,6	1,9	54,6	2,2	51,6	2,5	48,6	2,8

Bomba de vacio ($p_2=1.0$; $t_1=20^\circ\text{C}$; $d_2=1.2$ kg/m³)

Δp (mbar)	-100		-200		-300		-400	
MOTOR	Q1 m3/h	P HP	Q2 m3/h	P HP	Q3 m3/h	P HP	Q4 m3/h	P HP
1,5 HP-1500 RPM	30,6	0,3	24,7	0,4				

Q1 = caudal de admisión*

Δp = Presión diferencial

P = Potencia absorbida en el eje *

p_1 = presión de entrada

p_2 = presión de salida

t_1 = temperatura del aire en la

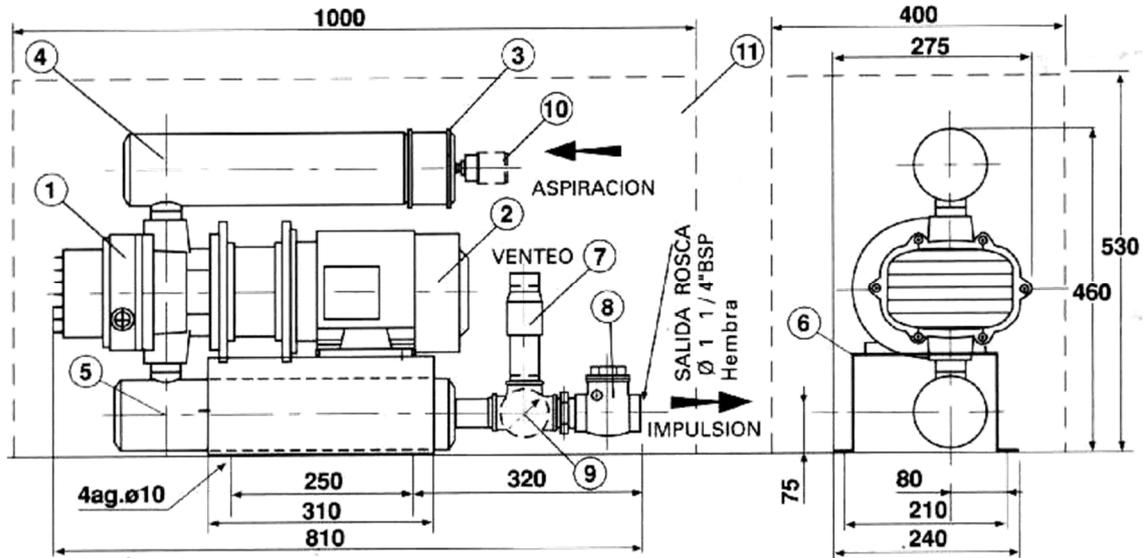
entrada

d_1 = densidad del aire

* = Tolerancia: +/- 5%

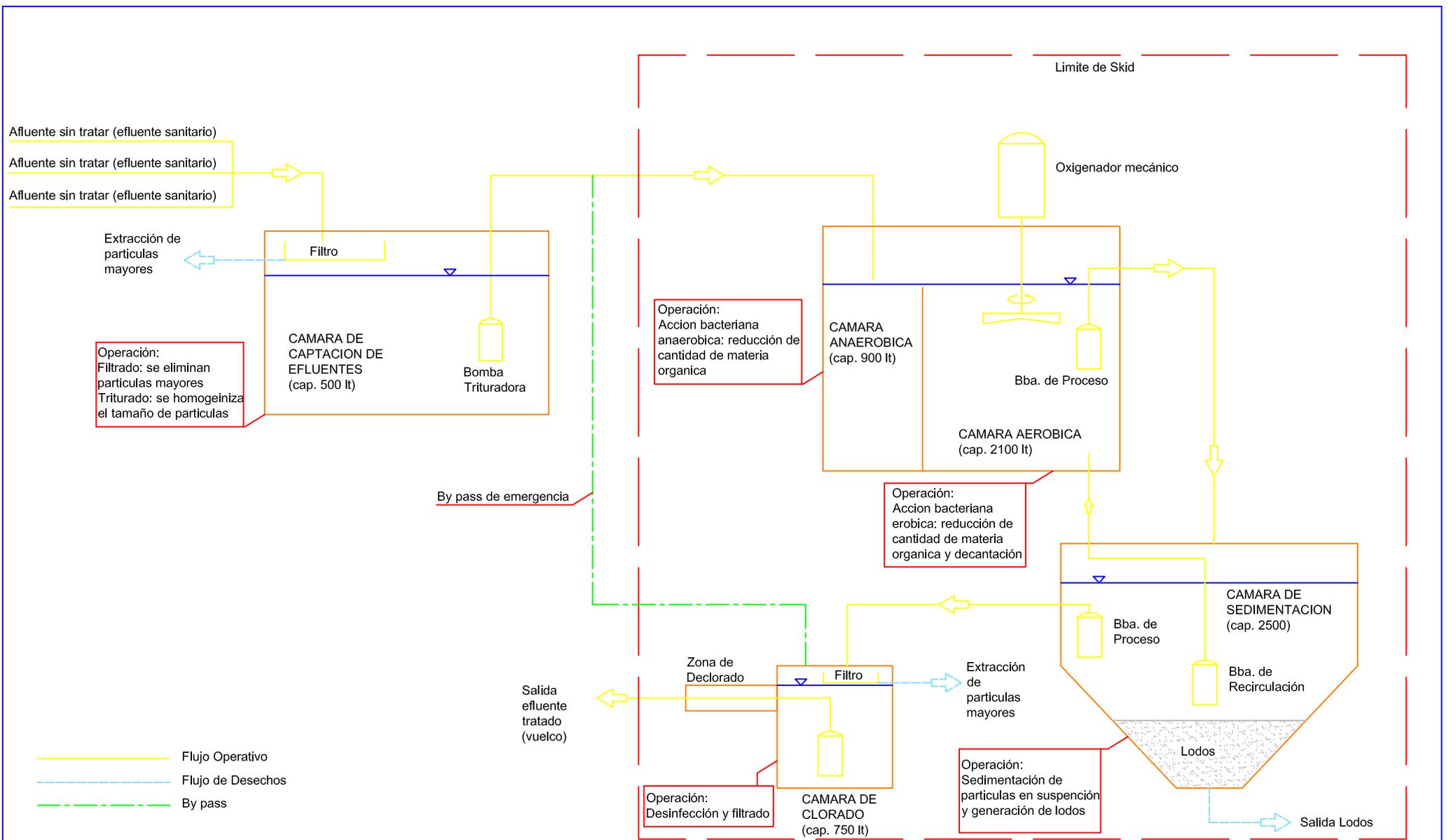
Peso total: 60Kg

DIMENSIONES GENERALES



- 1- Soplador
- 2- Motor
- 3- Filtro de aire
- 4- Silenciador de admisión
- 5- Silenciador de admisión
- 6- Base de apoyo
- 7- Válvula de alivio
- 8- Válvula de retención
- 9- Manómetro
- 10- Indicador de filtro obstruido
- 11- Cabina acústica (opcional)

ANEXO C



Notas:

- Las partículas extraídas en los filtros pueden ser: guantes, trapos, latex y espumas o escamas organicas.
- Todas las camaras poseen orificios de inspección y sistema de control manual y automático.
- El By pass de emergencia se utiliza en el caso de exceso de afluentes (rotura de instalacion sanitaria, etc)
- La Bba. de recirculación inyecta flujo con la funcion de inocular la mezcla y acelerar el proceso de crecimiento bacteriano

Trabaje este diagrama con:

- Documento de Descripción de Proceso
- Diagrama de Flujo
- Memoria técnica de Proceso
- Memoria de Calculo Mecánica

 Ingenieros del Sur <small>Este documento es propiedad intelectual de Ingenieros del Sur.</small>		Proyecto:	
		PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	
		Documento:	
		DIAGRAMA DE PROCESO	
		Cliente:	Rev.
Nombre	Dibujo	Aprobo	A
Firma	NB	NB	Hoja 1/1
Fecha	08/06/06	08/06/06	
Obs.	FECHA: 08/06/06		ESCALA: S/E

Afluente sin tratar (efluente sanitario)
64.5 litros/hora

Filtro

Partículas mayores (papeles, plásticos, etc)
Cuerpos extraños (guantes, vasos, etc)

Homogeneización del tamaño de las partículas
Conducción del flujo

Bba. de proceso

Digestión bacteriana anaeróbica

Gases
Agua
Materia estabilizada

Incorporación de oxígeno

Oxigenador

Fluido inoculado

Bba. de recirculación

Digestión bacteriana eróbica

Gases
Agua
Materia estabilizada

Bba. de proceso

Sedimentación

Lodos

Bba. de proceso

Desinfección

Cloro

decoloración

Sulfito de Sodio

Efluente tratado

Filtro

Materia aglomerada

Notas:
- Gasto diario proyectado 1500 litros por planta.

Trabaje este diagrama con:
-Documento de Descripción de Proceso
-Memoria técnica de Proceso
-Memoria de Calculo Mecánica

 Ingenieros del Sur <small>Este documento es propiedad intelectual de Ingenieros del Sur.</small>			Proyecto:	
			PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	
Este documento es propiedad intelectual de Ingenieros del Sur.			Documento:	
			DIAGRAMA DE FLUJO	
Nombre	Dibujo	Aprobo	Cliente:	
Firma	08/06/06	08/06/06	SOLUCIONES AMBIENTALES S.R.L.	
Fecha			Rev. A	
Obs.			Hoja 1/1	
			FECHA: 08/06/06	ESCALA: S/E

ANEXO D

PARAMETROS	Guías de Calidad de Agua Superficial para Irrigación- DRH NQN	Resolucion 709/11 Calidad del efluente - EPAS	ANEXO I - d) – Resolución N° 778/96 H.T.A.		Resolucion 885 - DPA ANEXO 5 y B	Resolución 336/2003	Ordenanza N° 6301/06	Normas de la Agencia de Protección Ambiental para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos.	Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público		Parámetros de calidad microbiológica recomendados para la utilización de aguas residuales en agricultura ¹ (OMS, 1989)
			Limite Maximo	limite Recomendado		ANEXO II Parametros de calidad de las descargas - Límites Admisibles	ANEXO I	Riego de arboles y parques con acceso público prohibido o infrecuente.	directo	indirecto	Categoria B: Riego de cultivos de cereales y especies industriales, forrajes, pastos y árboles ^d
						Absorción por suelo	PARAMETROS DE CALIDAD DE EFLUENTES CLOACALES TRATADOS PARA REUSO				
pH	6 - 8	6,5 - 9	5,5-9	6,5-8	6-9	6,5-10	5,5-9,0	6 - 9			
temperatura °C		45	45	30	45	≤45					
DBO mg/l	100	50	30	<30	100	≤200	30	<30			
DQO mg/l	250	250	70	50	500	≤500	70				
Nitrógeno Total mg/l	50	50	*	*	30	≤105 *	*				
Nitrógeno Amoniacal mg/l			*	*	10	≤75 *	*				
Fosforo total mg/l	0,5	0,5	*	*	5	≤10 *	*				
Sólidos Sedimentables en 10 min ml/l		0,5	0,5	<0,5		Ausente	0,5				
Sólidos Sedimentables en 2 hs ml/l		1			5	≤5,0	0,5				
Grasas y aceites mg/l	50	50	80	30	50	≤50					
Detergentes mg/l	3	1	3	1	1	≤2,0	3				
Hidrocarburos Totales mg/l	0,2	10	10	5	10	Ausente	10				
Coliformes fecales NMP/100 ml						≤2000	1000	0	200	1000	Sin estandares recomendables
Conductividad µS/cm	1750		2250	1800			2250				
Fenoles mg/l	0,05		0,05	<0,05	0,5	≤0,1	0,05				
Cloro libre mg/l	0,5-2	0,5 - 1,5	0,5	<0,5		Ausente	*	1			
E. coli NMP/100 ml	250		1000	250							
R.A.S. N°			6	4			6				
Solubles en éter mg/l			80	30			100				
Sulfatos mg/l			600	400	500	≤1000					
Cloruros mg/l			500	400	200		500				
Fluoruro mg/l			1	0,6	10		5				
Sulfuros mg/l		1	1	0,5	5	≤5,0	600				
Cianuros mg/l			0,1	0,05	0,2	Ausente	0,01				
Sodio mg/l			500	250	140		500				
Molibdeno mg/l				0,5							
Manganeso mg/l			0,5	0,2	2	≤0,1	0,5				
Bario mg/l			2	1	1	≤1	4				
Boro mg/l			1	0,5	2	≤1	4				
Litio mg/l											
Hierro total mg/l			5	3		≤0,1	5				
Aluminio mg/l			5	2	2	≤1	5				
Arsénico mg/l			0,1	0,05	0,1	≤0,1	0,05				
Berilio mg/l											
Cadmio mg/l			0,01	<0,01	0,01	Ausente	0,01				
Cobre mg/l			1	0,5	2	Ausente	3				
Cromo (+6) mg/l			0,1	0,05	Ausente	Ausente	0,05				
Fluor mg/l											
Cromo total mg/l			0,5	<0,5		Ausente	0,5				
Zinc mg/l			3	2	0,5	≤0,1	10				
Paladio mg/l											
Niquel mg/l			0,5	0,2	0,5	≤0,1	0,1				
Mercurio mg/l			0,005	0,001	0,001	Ausente	0,005				
Plomo mg/l			0,5	<0,5	Ausente	Ausente	0,05				
Selenio mg/l			0,05	0,02	0,2	Ausente	0,01				
Cobalto mg/l			0,1	0,05	0,05	≤1	1				
Potasio mg/l			*	*			*				
Nitratos mg/l			*	*	20		*				
Nitritos mg/l			*	*			*				
Fosfatos mg/l			*	*			*				
Bacterias Aeróbicas Ufc/ml			*	*			*				
Pseudomonas Aeruginosas N°/100 ml			*	*			**				
Helmitos huevos/1000 ml			1	<1			1				
nematodos intestinales (media aritmética del número de huevos viables por litro)								<1	<1		≤1
Uranio µg/l			1500	1500							
Vanadio mg/l					0,1						
Radio 226 pico curie/l			5	5							
Sólidos suspendidos totales mg/l		a					300	30			
Turbidez UNT								<2			
COT						NE					
Color		a									
Olor		g									
Oxígeno Disuelto mg/l O2		b									
Amonio mg/l NH4		3									
Fitosanitarios Organoclorados mg/l					0,0005	Ausente					
Fitosanitarios Organofosforados mg/l					0,1	Ausente					
Calcio mg/l					500						
Estaño mg/l					2						
Plata mg/l					0,1						

Resolucion 709/11 Calidad del efluente - EPAS a No ha de provocar modificación al medio receptor b No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro DBO5. c En un radio de descarga menor de 5 Km de una toma de agua para bebida debe ser menor de 0,01 mg/l. d No deben producirse espumas ni problemas de sabor ni olor. e En vertidos a cuenca de lagos 0,5 mg/l. f Cantidad tan pequeña como sea posible en las cuencas de lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutroficación. De ser necesario se fijará la carga total diaria en Kg/día de fósforo total, nitrógeno total y nitrógeno de amonio. g No se permitirán líquidos con olores acentuados	ANEXO I - d) – Resolución N° 778/96 H.T.A. * (límite a determinar según afectación al acuífero)	Resolución 336/2003 NE (significa que por el momento no se establece límite permisible) * Estos límites serán exigidos en las descargas a lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutroficación.	Ordenanza N° 6301/06 * (Límite a determinar por la Autoridad de Aplicación, según el uso que se le da al efluente, estableciéndose valores para cada caso en particular)
---	---	---	--

ANEXO E

EXPERIENCIA PILOTO: REUSO DE EFLUENTES DOMICILIARIOS TRATADOS

La Empresa realizo una experiencia piloto en el reúso de efluentes domiciliarios tratados mediante las plantas modulares móviles. Esta experiencia se llevó a cabo en la base operativa de la empresa. Entre los años 2006 y 2007 se destinó en el predio de la base operativa un sector para montar una planta modular móvil de tratamiento. Se construyó una plataforma de cemento y se dejó un sector como espacio verde.

En la siguiente fotografía se observa la plataforma de cemento y parte del espacio verde.



Luego se procedió a plantar sauces en el cerco perimetral, además de otras plantas y césped.

Luego de un año de riego con estos efluentes tratados el lugar mejoro mucho con respecto a la calidad paisajística aportándole un espacio verde al sector.

A continuación, se observa en las fotografías el cambio del sector donde se realizaba el riego con efluentes tratados.



Vista de Planta
Modular operando
en base operativa.



Vista de espacio
verde y planta de
tratamiento en la
base operativa.



Riego con
efluentes tratados
del espacio verde.



Vista de álamos
y sauces.



Vista de espacio
verde.



Vista de espacio
verde.