

ESTRATEGIAS, DIFICULTADES Y BENEFICIOS EN LA APLICACIÓN DEL REUSO DEL AGUA TRATADA EN TRES MUNICIPIOS DE LA PATAGONIA

Mauricio Faleschini

Centro para el Estudio de Sistemas Marinos-Centro Nacional Patagónico (CESIMAR-CENPAT/CONICET): Boulevard Brown 2915 – Puerto Madryn – Chubut. Tel: (0280) 4451024 Fax: (0280) 4451543.

Email: mfaleschini@cenpat-conicet.gob.ar

RESUMEN: La reutilización de agua residual tratada representa un desafío para los Municipios, en particular aquellos en los que existe escasez de agua dulce. En este trabajo se analizan tres municipios patagónicos que desarrollan alternativas diferentes en el tema de reuso del agua tratada. Puerto Pirámides posee un sistema de lagunas de estabilización reciente y enfrenta un desafío interesante en el manejo del agua tratada por estar ubicada en el centro de un Área declarada Patrimonio Natural de la Humanidad, en la actualidad la localidad cuenta con un incipiente riego con agua tratada y tiene proyectado su ampliación. Puerto Madryn ha experimentado una destacada evolución en el manejo del agua residual domiciliaria. Desde una planta de tratamiento con lagunas aireadas mecánicamente y derrame del agua tratada en el mar, hasta la construcción de una nueva planta de tratamiento con un eficiente tratamiento y reuso total del agua. Trelew no cuenta con un sistema de tratamiento formal (pensado como una obra de ingeniería), sino que se han aprovechado depresiones pre-existentes para el vuelco del agua y tratamiento natural en el terreno, asemejándose a un sistema de lagunas de estabilización. Sin embargo, al estar limitados en las opciones de disposición final y no haber desarrollado experiencias de reuso, el excedente se derrama en el ejido de Rawson, provocando problemas políticos, jurídicos y ambientales. El resultado de estas experiencias nos muestra que es posible alcanzar un manejo integral del agua residual tratada. La experiencia de Puerto Madryn, sirve como ejemplo de que es posible coleccionar, tratar y reutilizar el agua domiciliaria con diversos beneficios: ahorro de agua potable, protección del ambiente, desarrollo de actividades agrícolas/ganaderas en sitios con escasez hídrica, integración económica de sectores marginados de la sociedad. La difusión de estas experiencias es una buena herramienta para su incorporación en nuevos Municipios.

PALABRAS CLAVE: ZONAS SEMI-ÁRIDAS; REUSO AGUA RESIDUAL; MUNICIPIOS PATAGÓNICOS

INTRODUCCIÓN

A medida que se actualizan datos de disponibilidad de agua dulce, cada vez son más los países que sufren de estrés hídrico por la escasez de agua. Sólo el 1% del agua presente en el mundo se encuentra en la forma de agua dulce en estado líquido (y de ésta el 98% se encuentra confinada en acuíferos) (Bouwer, 2000) y además su distribución es heterogénea. Si se analiza la disponibilidad de agua dulce a nivel mundial, se calcula que se podrían suministrar 7000 m³ por persona por año de este vital elemento a todos los habitantes del planeta sin déficit alguno (Shiklomanov, 2000). Sin embargo, debido a que tanto el agua como la densidad poblacional se distribuyen de manera irregular, existen zonas donde el agua se presenta en cantidades por demás elevadas y otras regiones donde la disponibilidad anual de agua es escasa (Qadir *et al.*,

2007). Se calcula que la demanda excede a la oferta en un 40% de la población mundial (Bennett, 2000) y de acuerdo a proyecciones realizadas por Cosgrove & Rijsberman (2000) si se continúa con las prácticas y políticas actuales, en el año 2025 el porcentaje se incrementará a un 60% de la población. Anticipándose en el tiempo, ya en 1958 el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas recomendaba que “A menos de que existan grandes excedentes, nada del agua de la más alta calidad (potable) debería ser utilizada en actividades que toleren un nivel de menor calidad” (United Nations, 1958).

La presión por la mayor producción de alimentos ha acentuado la competencia entre el uso de agua para producción agrícola y para consumo domiciliario. El uso de agua en riego agrario representa el mayor uso de agua dulce, con aproximadamente el 75% del consumo mundial y en algunos países alcanza el 90% del agua disponible (FAO, 2003). Esta situación ha creado una sobreexplotación sobre las fuentes de agua dulce y sumado a la tendencia de incremento poblacional, cada vez será necesario más agua para consumo personal y para cultivar y producir mayor cantidad de alimentos de acuerdo a la demanda.

El incremento en la presión antrópica sobre las fuentes de agua dulce hace necesario conservar la calidad y utilizar de manera más eficiente las fuentes de agua convencionales (ríos, lagos, reservorios y acuíferos). Se requiere generar estrategias para tratar de mitigar y anticiparnos a la crisis del agua dulce, como la utilización racional del agua dulce de mayor calidad (potable) destinada preferentemente al consumo humano y agua de fuentes no convencionales para usos que no requieren agua potable, como ser el riego (Lazarova & Bahri, 2005; Qadir *et al.*, 2007; Asano *et al.*, 2007) u otros usos suntuarios.

Dentro de las fuentes no convencionales se encuentran: las aguas residuales tratadas – el agua de mar – el agua de lluvia – el agua de napas – el drenaje del agua utilizada en agricultura. Estas fuentes permiten aumentar la cantidad de agua disponible y de este modo, achicar la brecha entre la demanda de agua y su disponibilidad en regiones con escasez de este recurso (Oron *et al.*, 2007).

De las fuentes de agua no convencionales, el tratamiento y reuso de aguas residuales es la estrategia más utilizada hasta el momento (U.S. EPA, 1992). A medida que el agua dulce se torne más escasa, se incrementará la necesidad de otorgarle un uso extra al agua tratada. De este modo, la reutilización de líquido residual tratado se presenta como una solución técnica y económica efectiva para la disposición final de los residuos líquidos tratados y para el ahorro de fuentes de agua con requerimientos más estrictos de calidad (Darwish *et al.*, 1999; Yadav *et al.*, 2002; Janosova *et al.*, 2006; Lopez *et al.*, 2006; da Fonseca *et al.*, 2007).

Entre las opciones de reuso para el agua tratada que se han puesto en práctica tanto en zonas urbanas como peri-urbanas podemos mencionar:

- ❖ riego en actividades agrícola, floricultura y forestal
- ❖ riego de parques, campos de deporte y espacios verdes
- ❖ recarga de acuíferos, de humedales, de refugios para la vida silvestre, y de lagos y lagunas urbanas

- ❖ uso industrial (como agua de enfriamiento, vapor de agua en la generación de energía eléctrica y en el procesamiento de materiales)
- ❖ acuicultura
- ❖ otros usos (protección de incendios, en aires acondicionados, control del polvo en suspensión, descarga de inodoros)

De todas estas prácticas, la reutilización en riego productivo es la que mayor difusión ha tenido hasta el momento (Asano & Levine, 1996). Entre los beneficios de utilizar este recurso correctamente tratado, podemos mencionar (Feigin *et al.*, 1991; Biswas *et al.*, 1999; Yadav *et al.*, 2002):

- 1- se reduce la descarga de este líquido en el ambiente, reduciendo la contaminación, siendo todavía más significativo si el cuerpo receptor es fuente de agua potable para otras localidades
- 2- se logra un ahorro efectivo de agua potable en usos que pueden tolerar agua de menor calidad
- 3- se puede mejorar la economía de regantes, que reemplacen el riego con agua potable por el riego con agua residual tratada (contando con una fuente de agua constante, rica en nutrientes y materia orgánica)
- 4- se puede generar una nueva actividad económica en aquellos casos en que dicha práctica resulta inviable por escasez de agua dulce
- 5- se minimiza el uso de agroquímicos y fertilizantes al disponer de agua rica en nitrógeno, fósforo y otros nutrientes

En consecuencia, su utilización permite aumentar el rendimiento productivo, producir a lo largo de todo el año y particularmente (pero no limitado a) el cultivo en zonas áridas y semi-áridas (Koottatep *et al.*, 2006; Keraita *et al.*, 2008). A estos beneficios se le suma la posibilidad de utilizar los nutrientes que transporta el agua residual (fertirrigación) a menor costo (o sin costo) en comparación con la incorporación de fertilizantes comerciales. Esta práctica minimiza el aporte de nutrientes a cuerpos receptores y en el caso de que exista una legislación que sea exigente con los niveles de nutrientes que pueden ser vertidos a cuerpos receptores, se evita la necesidad de un costoso tratamiento terciario para alcanzar estos niveles (Angelakis *et al.*, 1999). Otras ventajas del reuso en ocasiones pasan desapercibidas: disponibilidad de líquido para riego importante, predecible y constante, lo cual permite poder planificar sustentablemente y evaluar la viabilidad y las dimensiones de emprendimientos productivos de riego.

Jiménez & Asano (2008) estimaron que a nivel mundial se estaría regando una superficie entre 4 y 6 millones de hectáreas con agua residual parcialmente tratada, diluida o correctamente tratada. Por su parte, la OMS (2006) relevó una superficie productiva bajo riego con agua residual con o sin tratamiento del orden de 20 millones de hectáreas, lo que implica un 7% de la superficie mundial bajo riego.

Simultáneamente con los beneficios de esta práctica, coexisten aspectos riesgosos, que han obligado a la formulación de requisitos que se le exige al agua tratada a ser utilizada en riego. Los principales aspectos a tener en cuenta involucran tanto a la salud pública (trabajadores, consumidores, usuarios) como al ambiente (acumulación de metales, sodificación y/o salinización del suelo y de los acuíferos) (Asano & Levine 1996; Marecos do Monte *et al.*, 1996; Gerba & Rose, 2003; Salgot *et al.*, 2003).

El presente trabajo describe tres localidades de la Patagonia Argentina, ubicadas en la Provincia del Chubut. Tanto la localidad de Puerto Madryn como Puerto Pirámides presentan un fuerte aporte de turismo, incrementando desde la población permanente (PM: 90000 y PP: 700) a picos de 148000 (PM) y de 7000 (PP), ambos durante el mes de enero. La localidad de Puerto Pirámides concentra como actividad principal la turística, mientras que Puerto Madryn la complementa con la industria pesquera y del aluminio. En la localidad de Trelew, el turismo es menor comparativamente, destacándose por la actividad agropecuaria y la industria lanera. Su población estable es del orden de 100000 habitantes.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal el de contrastar tres experiencias de tratamiento y disposición final del agua residual en tres municipios patagónicos: Puerto Pirámides (PP), Puerto Madryn (PM) y Trelew (TW); haciendo hincapié en los beneficios que han obtenido (o que podrían obtener) y en las dificultades con que se han encontrado, junto con una descripción de la situación hídrica de cada uno de los Municipios.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Dotación de agua potable y cobertura sanitaria

La fuente de agua para consumo de las localidades de Puerto Madryn y Trelew es el río Chubut. Mientras que Trelew se ubica a orillas de dicho Río, Puerto Madryn se encuentra a una distancia de 60 kilómetros. Puerto Pirámides representa una de las pocas localidades de Argentina que se abastece de agua para consumo principalmente por medio de la desalinización del agua marina. El crecimiento poblacional de las localidades de Puerto Pirámides y especialmente de Puerto Madryn, ha repercutido en la necesidad de incrementar sus dotaciones de agua potable. Puerto Pirámides ha tenido que recurrir al envío de camiones con agua potable desde Puerto Madryn (aproximadamente 100 km de distancia) para suplir la mayor demanda, principalmente en los meses de verano y se encuentra buscando financiación para la implementación de una nueva planta desalinizadora. Puerto Madryn invirtió en la construcción de un nuevo acueducto, que a partir de 2007 duplicó la capacidad de transporte de agua potable desde el río Chubut. Respecto a los costos de este servicio esencial, claramente Puerto Pirámides y Puerto Madryn representan los mayores costos de inversión, mantenimiento y operación, ya sea por la distancia de transporte (Puerto Madryn y camiones cisterna desde Puerto Madryn a Puerto Pirámides) como por la tecnología utilizada (Puerto Pirámides). Al mismo tiempo,

cada vez es más frecuente la presencia de elevados índices de turbidez y niveles bajos en el río Chubut, lo que ha provocado problemas en la dotación de agua a Trelew y Puerto Madryn.

En lo que respecta a la cobertura de cloacas, la región Patagónica en general y estos tres Municipios en particular, presentan aceptables índices de cobertura: Puerto Pirámides > al 85%; Puerto Madryn > al 90% y Trelew del 97%.

Tratamiento del agua residual

Los tres municipios cuentan con plantas de tratamiento basadas en lagunas de estabilización (Figura 1). Sin embargo, cada uno tuvo su propia evolución en la aplicación del tratamiento del agua residual domiciliaria.

Puerto Pirámides cuenta con un sistema de lagunas de estabilización relativamente reciente (2007), conformada por cuatro lagunas trabajando en paralelo. Previo a la llegada del líquido a las lagunas, el líquido crudo recibe un tratamiento primario (tamices) y requiere de tres instancias de bombeo hasta alcanzar la altura donde se encuentran las lagunas. En la actualidad, desde el CENPAT y junto con el Municipio se está llevando a cabo un estudio para conocer el funcionamiento de la planta de tratamiento y las opciones de reuso del agua tratada. La localidad cuenta con la particularidad de una explosiva afluencia turística en los meses de verano, incrementando la población servida desde unos 700 habitantes aproximadamente a picos de 7000 habitantes, la gran mayoría alojándose en el camping municipal. Por un lado se incrementa la demanda de agua y por otro, se incrementa el caudal de agua residual que debe tratar el sistema de tratamiento. La planta de tratamiento cuenta con un sistema de desinfección por cloro que no ha sido puesto en marcha aún y con una cañería de agua tratada, que permitirá el transporte desde la planta hasta la Ciudad.

Puerto Madryn ha experimentado una destacada evolución en el manejo del agua residual domiciliaria. Comenzó con una planta de tratamiento basada en lagunas de estabilización aireadas mecánicamente (1980). La gran mayoría del líquido tratado era vertido a la zona costera, viéndose incrementado (tanto en volumen como en una menor calidad del líquido descargado) con el crecimiento poblacional que experimentó la Ciudad. Esto repercutió en la calidad del agua costera receptora y en problemas sanitarios en la población. Esta situación dio paso a la necesidad de la construcción de una nueva planta de tratamiento. Para la selección del tipo de planta de tratamiento como del sitio donde se implementaría, desde la comunidad se puso en funcionamiento un sistema participativo y abierto, que se llamó “La Multisectorial” contando con integrantes de distintos ámbitos: gobierno municipal, Universidad de la Patagonia, ONG como la Fundación Patagonia Natural, Centros de investigación (CENPAT-CONICET), la Cooperativa de Servicios Públicos (SERVICOOOP), la Cámara de Comercio e Industria, la empresa ALUAR, entre otros. La elevada participación y el compromiso asumido por las Instituciones permitieron que los puntos de acuerdo logrados por consenso hayan sido incorporados naturalmente por la sociedad y firmados ante escribano. El Acuerdo (firmado ante Escribano Público) determinaba el tipo y dónde se implementaría la nueva planta de tratamiento; asimismo se establecía que debía llegarse a un reuso total del líquido residual tratado en la Ciudad (lo que se denominó como “cero volcado a las aguas del Golfo”).

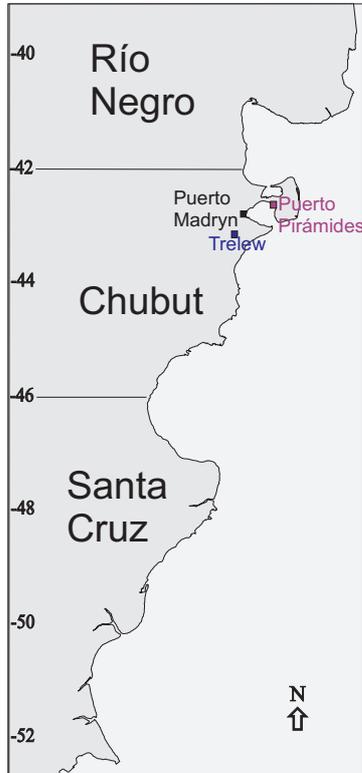
Al tiempo en que fue puesta en marcha la nueva planta se estableció un mayor porcentaje de reuso del agua tratada en la antigua planta (la cual continúa funcionando, pero a caudales menores y por lo tanto generando un líquido tratado con una calidad superior, sumado a un proceso de desinfección con cloro), alcanzando en la actualidad un reuso total del líquido tratado en esta Planta.

A partir del líquido tratado en la nueva planta de tratamiento existieron algunas limitaciones que retrasaron la puesta en marcha de su reuso: la más importante fue la necesidad de una estación de bombeo del líquido tratado y de cañerías de conducción. Durante este período el líquido tratado superaba al líquido reutilizado, y en consecuencia el excedente se descargó hacia la playa El Doradillo, sitio conocido por la presencia de ballenas francas.

El sistema de tratamiento nuevo ha sido estudiado desde el Laboratorio de Oceanografía Química y Contaminación de Aguas del CENPAT, mostrando un eficiente funcionamiento incluso en los meses fríos, que es cuando esta clase de sistema natural de tratamiento puede sufrir una merma en su funcionamiento (Faleschini & Esteves, 2011; Faleschini *et al.*, 2012).

En Trelew, el sistema de lagunas de estabilización se encuentra sobre depresiones pre-existentes en el terreno, conocidas como lagunas encadenadas. Como consecuencia de la existencia de agua dulce en cantidad relativamente importante por la cercanía del río Chubut, no se ha ejercido presión sobre la necesidad de reutilizar el líquido tratado. El crecimiento poblacional ha generado el rebalse de las actuales lagunas, alcanzando a inundar parte del ejido de Rawson (la cual es la ciudad Capital de la Provincia, que se encuentra aguas abajo de la ciudad de Trelew), provocando problemas sociales, ambientales y políticos. Existe un impedimento de volcar el líquido tratado al río Chubut por la salinización excesiva del agua tratada (asociado a la intrusión de napas salinas por roturas de las cañerías cloacales antiguas y a la concentración de sales en las lagunas actuales por la evaporación del líquido estancado). Esto también limita la posibilidad del reuso actual. Desde distintas organizaciones se han elaborado una serie de posibles soluciones (30 en total) de las cuales fue seleccionada la construcción de una nueva planta de tratamiento, contemplando proyectos de reuso y la eventual descarga de líquido tratado al río Chubut. Esto último ha provocado fuertes polémicas. Hasta el momento el proyecto no ha sido puesto en marcha por falta de presupuesto.

Un resumen de las características de los tres sistemas lagunares se presenta en la Tabla 1.



Puerto Pirámides



Puerto Madryn



Trelew

Figura 1.- Imágenes de los sistemas de tratamiento en las tres ciudades en estudio

Tabla 1.- Descripción de los sistemas de tratamiento bajo estudio

	Puerto Pirámides	Puerto Madryn	Trelew
Cobertura cloacal	> 85%	> 90%	97%
Año de puesta en funcionamiento del sistema de tratamiento	2007	2001	1970
Impermeabilización de las lagunas	Si (membrana)	Si (arcilla compactada)	No
Etapas del tratamiento	Primario+4Lagunas facultativas en paralelo. Profundidad: 1,5 m Sin desinfección adicional	Primario+2Lagunas facultativas en serie.Tercer laguna de contención para excedentes Profundidad: 1,5 m Sin desinfección adicional	Primario+3Lagunas en serie. Sin diseño de ingeniería. Sin desinfección adicional
Caudal diario de agua cloacal	~ 170 y 265 m ³	~ 18000 y 20000 m ³	~ 20000 m ³
Tiempo de estadía	Mínimo: 25 días Máximo: 39 días	~ 50 días	> a 100 días
Calidad sanitaria del líquido tratado	Se encuadra en la Categoría B (OMS, 1989). Niveles bacteriológicos > 150000 NMP/100 ml	Se encuadra en la Categoría A (OMS, 1989). Niveles bacteriológicos < 1000 NMP/100 ml	Se encuadra en la Categoría A (OMS, 1989) pero con conductividad elevada
Remoción de lodos	En ningún caso se han removido lodos		

Fuente: elaboración propia

Disposición final del líquido tratado

La localidad de Puerto Pirámides es el único núcleo urbano de la Península Valdés; presenta características de conservación únicas, ya que ha sido declarada como Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en 1999. Sus costas son visitadas por aves y mamíferos marinos y en la localidad se realizan avistajes de la ballena Franca Austral y sus playas se usan de manera recreativa en los meses cálidos. Estas características han ejercido una presión sobre la necesidad de proteger la calidad de sus aguas costeras. Como consecuencia se ha llegado a un tratamiento total del líquido cloacal recolectado. En lo que respecta al reuso del líquido tratado, inicialmente éste era utilizado para el riego de una zona de medanos adyacente a la planta de tratamiento, constituida por la flora característica de la zona. Hace unos meses se realizaron las primeras pruebas de implantación de estacas de álamos, formando una cortina sobre uno de los bordes del predio. En el futuro se tiene pensado hacer pruebas sobre las condiciones del líquido tratado para ser reutilizado en aspectos productivos a pequeña escala en el predio mencionado y en el camping municipal. En este último, se plantea su uso en riego de los espacios verdes y en la descarga de los sanitarios. Los mayores beneficios del reuso del agua residual en esta localidad han sido entonces, evitar la descarga de líquido residual (sea crudo o tratado) a la zona costera debido a su importancia turística y de conservación y se espera incrementar los usos en el corto plazo.

Como se mencionó anteriormente, la ciudad de Trelew no cuenta con una estructura que permita el reuso del líquido tratado, ni tampoco una descarga hacia algún cuerpo receptor. Como consecuencia, el líquido tratado tiene como únicas posibles vías de eliminación, su evaporación e infiltración. Desde hace años que el balance neto diario entre el volumen de líquido que ingresa supera al que puede ser eliminado. Como consecuencia, la superficie del cuerpo de agua se ha incrementado, invadiendo el ejido municipal de la

localidad vecina de Rawson. Esto ha provocado problemas ambientales, políticos y judiciales entre los Municipios, lo cual se ha visto reflejado ampliamente en los medios. La puesta en marcha del nuevo sistema de tratamiento difícilmente contribuya a generar un líquido tratado apto para el reuso si es que persiste el problema de la salinidad elevada del líquido crudo, lo cual ha generado discusiones acerca de la necesidad de reparar las cloacas en aquellas zonas de la Ciudad donde se han detectado fisuras que posibilitan el ingreso de napa salina y de esta manera contar con un líquido tratado que permita su reuso sin este tipo de limitaciones. La implementación de un programa de reuso en Trelew permitiría solucionar el conflicto con la localidad de Rawson, al mismo tiempo que se podrían generar emprendimientos productivos en sectores alejados al Río.

Puerto Madryn ha experimentado una marcada evolución en lo que se refiere al manejo de sus efluentes líquidos domiciliarios. En la actualidad, su experiencia es material de referencia en la Patagonia. Varios factores se conjugaron para que con el correr del tiempo se incrementara el volumen de agua residual tratada que ha sido reutilizada: el incremento en la demanda de agua potable, la necesidad de cuidar la calidad de las aguas costeras (situación semejante a la de Puerto Pirámides: turismo y conservación, principalmente de una especie como la ballena franca), la necesidad de generar espacios verdes y, en última instancia, la posibilidad de darle una utilidad productiva al líquido tratado. Aquella evolución necesitó fundamentalmente de obras, algunas de las cuales se mencionan en la Figura 2.

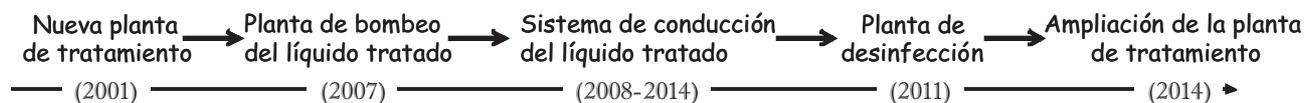


Figura 2.- Esquema de obras que fueron necesarias en Puerto Madryn

La planta de bombeo de líquido tratado fue necesaria para vencer la altura que impide que el líquido tratado llegué por gravedad hasta la Ciudad (aproximadamente 10 metros de desnivel). Luego fue necesaria la construcción de cañerías de conducción del líquido tratado para diversos emprendimientos que se desarrollaron en inmediaciones de la Planta. Para que el líquido este apto bacteriológicamente para usos sin restricciones de acuerdo a lo que establece la Organización Mundial de la Salud (1989) fue necesaria la construcción de una planta de desinfección, la cual se realiza con cloro y entró en funcionamiento en 2011.

En el año 2014 se concluyó la ampliación del sistema con la construcción de una nueva laguna facultativa, lo que ha permitido alcanzar valores bacteriológicos en el agua de reuso, compatibles con lo que recomienda la OMS para riego irrestricto, sin la necesidad de desinfección adicional.

En la actualidad, la Tabla 2 resume los distintos emprendimientos de reuso que se están llevando a cabo en la Ciudad.

Tabla 2.- Actividades de reuso con agua residual tratada en Puerto Madryn

Tipo de reuso	Emprendimiento
Forestaciones públicas	Municipales y de la Cooperativa Servicoop
Forestaciones / Espacios verdes privados	Empresa Aluar - Cementerio Parque
Campos de deportes	Clubes de fútbol y canchas para alquiler Cancha de rugby Campo de golf
Espacios verdes públicos	Costanera, plazas y parques
Emprendimientos productivos sociales	Fundación Ceferino Namuncurá Grupo de Agricultura Familiar
Emprendimientos de lotes y productivos privados	Parque Ecológico El Doradillo La Alhambra Quintas Mapu Ngefü
Otros usos	Riego de calles de tierra Producción de ladrillos Asfaltado de calles Sistema de combate de incendios

Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas actividades contribuye a que el líquido tratado tenga una disposición final dentro del ejido urbano y por lo tanto, se evite su descarga a las aguas de la bahía Nueva. En su conjunto, estas actividades generan un movimiento económico (productos que son comercializados: alimentos, terrenos, servicios; generación de mano de obra), brindan un servicio ambiental (espacios verdes, forestaciones, prevención de incendios y contención del polvo en suspensión), producen un embellecimiento del entorno, otorgan la oportunidad de una producción vegetal/animal impensada para una región con un fuerte déficit hídrico (promoviendo menores costos de los alimentos) y contribuye a mitigar situaciones de marginalidad. Respecto a este último punto, la experiencia de la Fundación Ceferino Namuncurá sirve como ejemplo. Funciona como un hogar de día para chicos menores de edad que han tenido algún problema judicial. Entre varias actividades, los chicos forman parte de un trayecto educativo de producción agrícola-ganadera, donde la producción vegetal es regada con agua residual. De este mismo modo, asegurando cierta dotación de agua residual tratada para producción agropecuaria a sectores relegados de la sociedad, se les da una oportunidad genuina de autosustentabilidad. La práctica de reuso se ha acompañado con la generación de una normativa para regularla: Ordenanza N° 6301/06. Últimamente se han focalizado los esfuerzos en ordenar y tener un registro de quién, cuanto y para que se utiliza el agua residual, lo que permitirá próximamente que el Municipio pueda cobrar por el uso del agua residual tratada. En la Figura 3 se observan algunas de las actividades de reuso en Puerto Madryn.



Figura 3.- Algunas imágenes del reuso en Puerto Madryn

CONCLUSIONES

El análisis de las experiencias de tratamiento y reuso del agua residual muestran que llegar a un manejo integral del líquido residual depende de una variedad de factores técnicos, sociales, económicos y políticos. Entre los factores identificados podemos mencionar: el grado de presión sobre el recurso hídrico (escasez de agua, necesidad de proteger un cuerpo receptor cercano), necesidad de obras de infraestructura (planta de tratamiento eficiente, desinfección en caso de ser necesario, conducción del agua tratada, superficie de terreno donde disponer el líquido); una dirigencia política y una comunidad en general conciente e informada de los beneficios del reuso. Respecto al último punto, creemos que es fundamental la transferencia de experiencias exitosas a zonas similares o con problemas comunes con los que estas localidades se enfrentan. Consideramos que la experiencia de Puerto Madryn ha conjugado una interesante evolución en el tratamiento y disposición final del líquido residual. Ahorro de agua potable, protección del medio ambiente, desarrollo de actividades agrícolas/ganaderas en sitios con escasez hídrica, integración económica en sectores marginados de la sociedad son algunos de los beneficios palpables alcanzados en dicha experiencia.

El resultado de estas experiencias nos muestra que se debe y se puede alcanzar un manejo integral del agua residual, en particular en zonas áridas y semi-áridas. La difusión de experiencias concretas como las aquí descriptas, es una buena herramienta para su incorporación en nuevos Municipios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelakis, A.N., Marecos do Monte M.H.F., Bontoux M. and Asano T., 1999. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Research*, 33 (10), pp. 2201-2217.
- Asano, T. and Levine A.D., 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future". *Water Science and Technology*, 33 (10/11), pp. 1–14.
- Asano, T., Burton F., Leverenz H., Tsuchihashi R. and Tchobanoglous G., 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. (McGraw-Hill). Metcalf & Eddy Inc.
- Bennett, A.J., 2000. Environmental consequences of increasing production: some current perspectives. *Agricultural Ecosystems Environmental*, 82, pp. 89–95.
- Biswas, T. K., Higginson F. R. and Shannon I., 1999. Effluent nutrient management and resource recovery in intensive rural industries for the protection of natural waters. *Water Science and Technology*, 40 (2), pp. 19–27.
- Bouwer, H., 2000. Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45, pp. 217–228.
- Cosgrove, W.J. and Rijsberman F., 2000. World Water Vision: Making Water Everybody's Business. *World Water Council, World Water Vision, and Earthscan*, 107 pp
- da Fonseca, A.F., Herpin U., Paula A.M., Victoria R.L. and Melfi A.J., 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomical–environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, 64 (2), pp. 194–209.
- Darwish, M.R., El-Awar F.A., Sharara M. and Hamdar B., 1999. Economic-environmental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. *Applied Engineering in Agriculture*, ASAE, USA. 15 (1), pp. 41–48.
- Faleschini, M. and Esteves J.L., 2011. Characterization and degradation process of sludge profiles inside a facultative pond (Patagonia, Argentine). *Water Science and Technology*, 64 (11), pp. 2239-2245.
- Faleschini, M., Esteves J.L. and Camargo Valero M., 2012. The effects of hydraulic and organic loadings on the performance of a full-scale facultative pond in a temperate climate region (Argentine Patagonia). *Water, Air and Soil Pollution*, 223, pp. 2483-2493.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2003. Review of World Water Resources by Country. *Water Reports 23*, FAO, Rome, Italy, 110 pp.
- Feigin, A., Ravina I. and Shalhevet J., 1991. Irrigation with treated sewage effluent: Management for environmental protection. *Springer-Verlag*, Berlin.
- Gerba, C.P. and Rose J.B., 2003. International guidelines for water recycling: microbiological considerations. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), pp. 311–316.
- Janosova, B., Miklankova J. and Hlavinek P., 2006. Drivers for wastewater reuse: regional analysis in the Czech Republic. *Desalination*, 187 (3), pp. 103–114.
- Jiménez, B. and Asano T., 2008. Water reclamation and reuse around the world. In “*Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*”. Jimenez B. and Asano T. (eds), IWA Publishing, London, pp 648
- Keraita, B., Jiménez B. and Drechsel P., 2008. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. *Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3 (58), pp. 1-15.
- Koottatep, T., Polprasert C. and Hadsoi S., 2006. Integrated faecal sludge treatment and recycling

- through constructed wetlands and sunflower plant irrigation. *Water Science and Technology*, 54, pp. 155–164.
- Lazarova, V. and Bahri A., 2005. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. *CRC Press*, Boca Raton, USA.
- Lopez, A., Pollice A., Lonigro A., Masi S., Palese A.M. and Cirelli G.L., 2006. Agricultural wastewater reuse in southern Italy. *Desalination*, 187 (3), pp. 323–34.
- Marecos do Monte, M.H., Angelakis A.N. and Asano T., 1996. Necessity and basis for establishment European guidelines for reclaimed wastewater in the Mediterranean region. *Water Science and Technology*, 33 (10-11), pp. 303-316.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. *Report of a WHO Scientific*, Geneva, Switzerland.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2006. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater – Volume II: Wastewater use in agriculture. *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*
- Oron, G., Gillerman L., Bick A., Mnaor Y., Buriakovsky N. and Hagin J., 2007. Advanced low quality waters treatment for unrestricted use purposes: Imminent challenges. *Desalination*, 213, pp. 189-198.
- Qadir, M., Sharma B.R., Bruggeman A., Choukr-Allah R. and Karajeh F., 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water-scarce countries. *Agricultural Water Management*, 87, pp. 2-22.
- Salgot, M., Vergés C. and Angelakis A.N., 2003. Risk assessment in wastewater recycling and reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), pp. 301–309.
- Shiklomanov, I.A., 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, 25, pp. 11–32.
- United Nations, 1958. Water for Industrial Use. *Economic and Social Council*.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1992. Guidelines for water reuse. *Offices of Water and Wastewater and Compliance* (Ed.) Washington.
- Yadav, R.K., Goyal B., Sharma R.K., Dubey S.K. and Minhas P.S., 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—a case study. *Environment International*, 28 (6), pp. 481–486.