



A RECURSO ESCASO, ADMINISTRACIÓN EFICIENTE

**Uso de humedales artificiales para tratamiento de
agua residual en Argentina – un caso**

***Reuso de agua dulce en zonas de chaco con stress
hídrico***

**(Mejora en la eficiencia de resultados sociales y medioambientales, a
partir de eficiencia en el aprovechamiento de la inversión tecnológica
efectuada para la potabilización del agua en Concepción del Bermejo)**

**Ciudad Autónoma de Buenos Aires
21 de agosto de 2016**

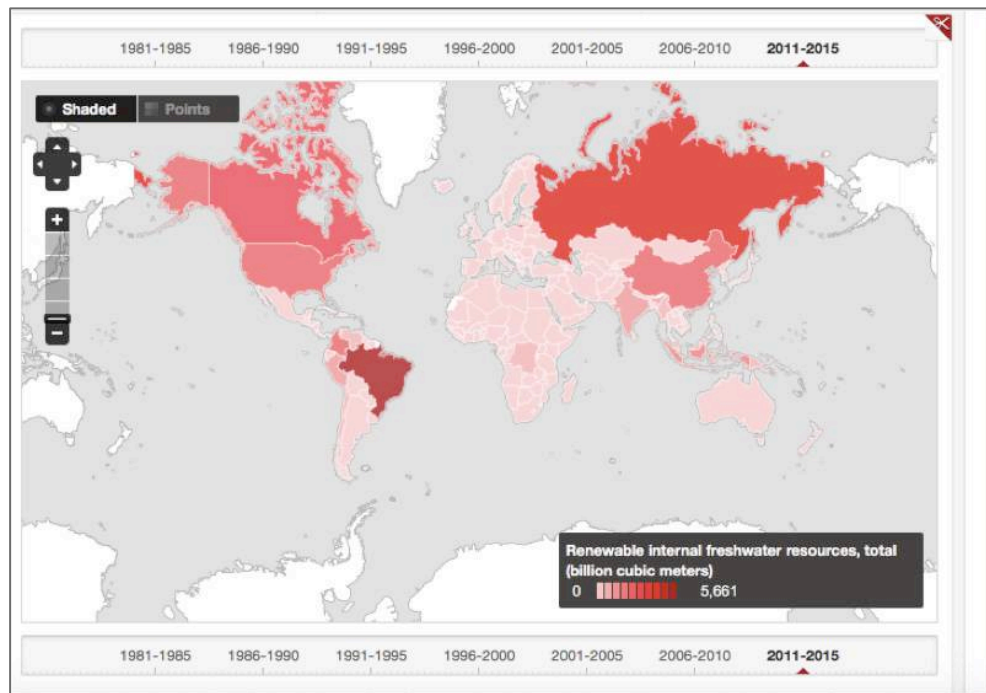
1. INTRODUCCION

1.1. Panorama general del agua

1.1.1. Panorama mundial del agua

El agua dulce en el planeta es aproximadamente 2,5% de los $1,37 \times 10^6 \text{ km}^3$ del volumen total de agua. De ese volumen, el 0,65% es agua disponible en arroyos, ríos, lagos y acuíferos. Dividido ese volumen por la población mundial actual, y por un estimado promedio mundial anual de uso del agua -de 1000 m^3 per cápita-, el resultado arrojaría que existe suficiente volumen de agua para milenios. Sin embargo, no basta con la existencia teórica del recurso, si no está garantizada su disponibilidad, calidad, acceso a las fuentes y prevención de la contaminación antrópica del recurso.

La década 2005 – 2015 fue declarada por la Asamblea General de las Naciones Unidas (UN) como la Década Internacional de la acción “Agua para la vida”. (WHO, 2011) Durante esa década, los organismos internacionales y las agencias de las Naciones Unidas publicaron informes de situación, proyecciones, previsiones y aplicaciones de tecnologías, dentro de las medidas de adaptación y/o mitigación frente a las consecuencias del cambio climático. Proclamada como derecho humano en julio de 2010, bajo la UN 64/292 y reconocida en las constituciones de algunos países de América Latina y el Caribe (ALC), la disponibilidad de agua limpia en cantidad y calidad suficiente se declara esencial para la dignidad y la calidad de vida humana. También se define como un servicio crítico que contribuye al alivio de la pobreza. Las UN afirman que se impulsará el uso eficiente de los recursos hídricos de manera justa y sostenible entre los usuarios que compiten por estos, de manera que se alcancen los objetivos establecidos en el párrafo 26(c) del Plan de Aplicación de Johannesburgo. (FAO, 2010)



Mapa distribución zonas de acuerdo con los recursos de agua dulce por zonas - Fuente Global Economic Monitor System, Banco Mundial

1.1.2. Situación del agua en Latinoamérica

ALC alberga el 31% de los recursos dulceacuícolas del planeta. (PNUMA, 2012). Sin embargo, existen áreas áridas o semiáridas –como la zona semiárida del nordeste de Brasil, el Sur de Ecuador, toda la franja litoral en Perú, el Norte de Chile, zonas de Bolivia y más de la mitad del territorio argentino – las que cubren el 23% del continente. (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010) Las principales cuencas son las de los ríos Amazonas, de la Plata, Orinoco, São Francisco y Magdalena. El agua en ALC presenta un perfil de estacionalidad, unido al hecho de que cuenta con algunos de los lugares con menor disponibilidad hídrica, como el desierto de Atacama (precipitación inferior a 1 mm/año), al mismo tiempo que con los lugares de mayores precipitaciones medias del planeta, como la región del Chocó (precipitación máxima de 13.000 mm/año) y la cuenca con mayor caudal y diversidad biológica, que es el río Amazonas (5.892.000 km²). (IUCN - International Union for Conservation of Nature, 2014)

La región de ALC presenta desigualdades importantes en el acceso al agua y saneamiento, que están directamente asociadas a desigualdades económicas y sociales. Estas diferencias se acentúan si se comparan las zonas rurales con las zonas urbanas. Los ecosistemas que proveen agua en las cuencas de la región sudamericana enfrentan importantes amenazas, como la sobre-explotación del recurso, la deforestación, la contaminación de la calidad del agua por los relativamente bajos niveles de tratamiento de las aguas residuales, la infiltración de acuíferos sub-superficiales por infiltración de lixiviado y agroquímicos, etc. A ello se debe añadir la incertidumbre del impacto que causará el cambio climático en la disponibilidad de agua y en los eventos extremos asociados tales

como las sequías e inundaciones. (IUCN - International Union for Conservation of Nature, 2014)

La distribución del agua potable en ALC constituye especialmente un problema en las zonas rurales, que son las áreas más desprotegidas. Las bases de la mayor parte de las economías se encuentran en los recursos naturales, que usan en su transformación y producción grandes volúmenes de agua. Esta situación genera tensiones en la gestión del agua por dos razones: la primera, las actividades económicas y la población tienden a concentrarse en áreas secas y sub-húmedas; esto genera una creciente competencia en términos de cantidad pero también de calidad y de costos de oportunidad de un recurso escaso. En segundo lugar, el crecimiento económico de la región y el aumento del ingreso *per cápita* genera una sostenida demanda de servicios públicos y recreación ambiental. (PNUMA, 2012) En cambio, una buena gestión de los recursos hídricos garantiza la adecuada calidad y cantidad del agua en la naturaleza para asegurar sus múltiples usos. Al mismo tiempo, esa gestión adecuada de recursos hídricos en las zonas urbanas y rurales reduce los efectos de las inundaciones y sequías. (Yommi, 2006)

La gobernanza del agua con un paradigma que migre desde el uso de los recursos y la gestión del agua, hacia el desarrollo socio-económico y la reducción de la pobreza, es la primera prioridad en ALC, de acuerdo con el programa de Naciones Unidas. (PNUMA, 2012) Dada la relativa abundancia del agua en la región, se considera que el foco estaría más en lo institucional, que hace posible la gobernanza del recurso, que en la disponibilidad física del recurso. Se propone que una mayor institucionalidad facilitaría la gobernanza, que administra los mecanismos de acceso y compensa la distribución regional. (UN - World Water Report, 2015)

De acuerdo con el informe “Abastecimiento de Agua y Saneamiento 2012”, la región ha logrado una alta cobertura de agua potable y una cobertura moderada de saneamiento básico. A fin de alcanzar el número 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), el 92.5% de la población de América Latina y el Caribe debiera tener acceso a agua potable y el 84.5% a servicios básicos de saneamiento para fines de 2052-3. Se prevé que no se cumplirá el objetivo de saneamiento si continúan las tendencias prevalentes. Como estrategia de avance, el informe de Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO5) recomienda opciones de política relacionadas con la expansión de la cobertura de abastecimiento de agua potable y los sistemas de saneamiento. (PNUMA, 2012)

Según datos de emergencia de la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica, la media por daños económicos derivados de desastres hídricos en ALC es la más elevada del mundo. Entre 1970 y 2013, el fenómeno de inundación fue el más frecuente de todos los desastres naturales en la región; desde 1980 a 2010 el total de daños económicos por desastres naturales fue mayor que el total de los daños económicos por desastres naturales durante las últimas ocho décadas. Las inundaciones son un fenómeno global que puede causar devastación generalizada, daños económicos y pérdidas de vidas. Además, el impacto de las inundaciones se magnifica cuando la escorrentía superficial tiene contaminantes como

metales pesados, cargas orgánicas, sólidos suspendidos, aceites, grasas. Todo esto tiene consecuencias para la seguridad hídrica. (Fernández, 2015)

1.1.3. Situación del agua en la Argentina

En la Argentina, la oferta del recurso hídrico se puede expresar como un caudal medio anual de aproximadamente 26.000 m³/s, aunque es necesario puntualizar que –como en toda ALC- la distribución espacial es muy heterogénea. El 85% del agua superficial del país corresponde a los territorios argentinos de la cuenca del río de la Plata, con sus ríos Paraguay, Uruguay y Paraná. En el otro extremo se sitúan las provincias áridas y semiáridas, con cuencas de escasa pluviosidad y menos del 15% del total del agua superficial. (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010) El 76% del territorio tiene precipitaciones medias menores a 800 mm anuales. (Pochat, 2012) (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010)

Las mediciones del CENSO2010 muestran una población de 40.117.096 habitantes (INDEC, 2011), por lo que la oferta media anual de agua superficial por habitante se puede expresar como un caudal de alrededor de 20.438 m³/habitante/año, muy superior al umbral de estrés hídrico de 1.000 m³/habitante/año. En cuanto al agua subterránea, los últimos estudios disponibles consignan que un 30% del agua utilizada corresponde a ese tipo de fuente. (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010)

Existe en Argentina una amenaza creciente a la sostenibilidad de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas por la alteración antrópica del uso del suelo en su cuenca de aporte. Las prácticas agrícolas no conservacionistas, la deforestación, el uso de agroquímicos y los cambios en el uso del suelo, particularmente la urbanización, perturban el balance hídrico y las condiciones de calidad de las fuentes. Concretamente, se advierten (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010):

- El incremento en la cantidad de sólidos en suspensión por mayor erosión hídrica debido a procesos de deforestación, sobre pastoreo o mal manejo de las tierras arables, como se verifica en Misiones, en algunas áreas de la cuenca del río Bermejo y otras zonas del país.
- La presencia de plaguicidas en cursos superficiales, como se ha detectado en aguas del río Uruguay y del río Negro.
- La contaminación de reservorios superficiales como el Embalse de Río Hondo, en Santiago del Estero, o los Lagos San Roque y Los Molinos en Córdoba, por aguas servidas sin tratar, provenientes de asentamientos urbanos e industriales ribereños o situados en la cuenca de aporte.
- La contaminación de acuíferos por disposición de líquidos cloacales en pozos ciegos, o por el desarrollo urbano industrial intensivo. Contribuyen a esta situación graves deficiencias en el manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos y tóxicos industriales, particularmente en las periferias urbanas.

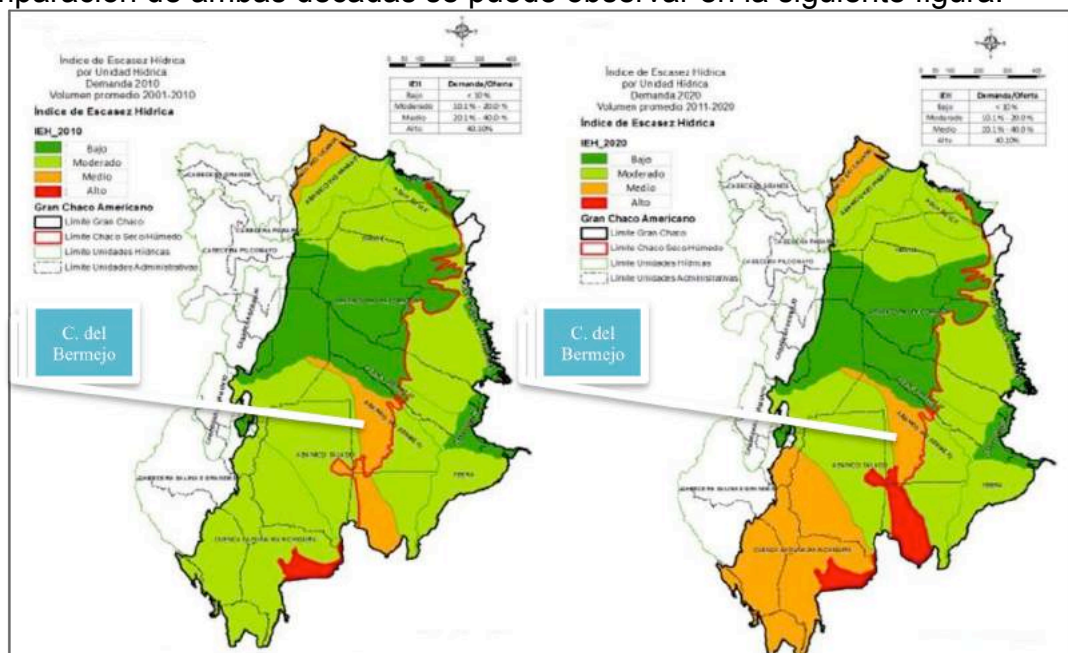
Además, en zonas rurales de varias provincias, se han detectado aguas destinadas al agua potable con contenidos de arsénico que exceden notablemente las normas de agua potable. (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010)

En cuanto al riego en las zonas áridas y semiáridas, el mal manejo del sistema agua de riego/ manto freático/suelo y drenaje ha causado serios problemas. La salinización de las aguas y de los suelos representa una grave amenaza para la sustentabilidad del sector agropecuario. (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010)

1.1.4. Panorama hidrológico Chaco Americano / Argentino

En el Gran Chaco Americano, la calidad del recurso tiene un nivel alto de salinidad que restringe su uso directo para consumo y para riego de algunos cultivos. (INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2014)

En cuanto a la disponibilidad, se advierte un período de escasez hídrica en la década 2001-2010, seguido de una década en la que se agudizan ligeramente las consecuencias del aumento de temperatura. La comparación de ambas décadas se puede observar en la siguiente figura.



Mapa índice de escasez hídrica - Gran Chaco - Comparativo décadas 2001-2010 y 2011-2020 - Fuente: PNUM2A

El periodo actual presenta temperaturas similares a la década 1991-2000, con un incremento de temperatura promedio del mismo valor de 0,75 °C cabeceras con una media de 0,87 °C, mientras que el Chaco Seco tiene un promedio de 0,62 °C. La precipitación es menor en las cabeceras del Pilcomayo y Bermejo, y la cuenca del Bermejo en el Chaco Húmedo. En el caso de las cabeceras, al tener un escenario con mayores temperaturas que la línea base y menores precipitaciones, se espera un aumento de evapotranspiración con la consecuente disminución de la escorrentía, entre 6% y 10% menos. (PNUMA, 2013)

Los lugares con mayor presión sobre el recurso son el Chaco Húmedo en los departamentos de Córdoba y en Santa Fe, la parte del abanico del Salado, y en la provincia del Chaco dentro del abanico del Bermejo y en la zona del Chaco Seco. (PNUMA, 2013)

Se observa como la presión sobre el recurso va en aumento, al combinar los cambios en el clima con el aumento de la demanda en la producción, como respuesta al crecimiento poblacional y planes de desarrollo. En general, los pobres son las poblaciones más vulnerables, así como los grupos étnicos autóctonos o indígenas. Las áreas más sensibles al cambio climático, presentan una reducción del volumen neto producido y adicionalmente un aumento en la demanda del recurso. Esta situación de tener una mayor demanda refleja a su vez una mayor producción agropecuaria, que en el caso de Argentina, principalmente, se traduce en mayor infraestructura, tecnología y capacidad de inversión, entre otros aspectos que les permite adaptarse mejor al cambio climático. (PNUMA, 2013)

Los primeros resultados de cálculos, daban valores elevados de la disponibilidad hídrica per cápita en la región, situación que no reflejaba la realidad, porque es un análisis de la disponibilidad neta del recurso.

Posteriormente, al incorporar el concepto de agua virtual, se intentó mostrar cómo un área tan extensa presenta sensibilidad ante la producción intensiva. (PNUMA, 2013) El concepto estiba en que cada tipo de alimento producido puede vincularse con un ratio de agua consumida por kilo en el proceso productivo, que varía en espacio y tiempo de acuerdo con la productividad del lugar y las condiciones del recurso de agua verde (lluvia) o azul (irrigación); una vez que el producto dejó el sitio de producción primaria, el agua deja el estatus de recurso real y tangible para ser agua virtual. Para una nación importadora de cereales, el valor del agua virtual no es el de cuánto se consumió en el sitio de producción del cereal, sino el del costo que hubiera tenido que pagar para producirlo en su lugar. (Renault, 2002) Estos conceptos tuvieron un doble objetivo: por un lado, mostrar las posibilidades de llevar el concepto del agua consumida en la producción a un valor de mercado global y por el otro, introducir un concepto vinculado a la sustentabilidad que sirve para medir la huella hídrica de una determinada producción o de una determinada región. (Wichelns, 2015) Aún los estudios presentan una información demasiado escasa para aplicarlo de modo directo al ámbito comercial internacional o al cálculo matemático de la huella hídrica. (Wichelns, 2015)

Para la aplicación de modelos más complejos y completos, se hace necesario contar con una red más densa de estaciones meteorológicas e hidrométricas, que permitan relacionar la precipitación con los caudales, y de esta manera calibrar las variables que intervienen en la relación de precipitación y caudal producido, tanto para crecidas como para sequías, con modelos continuos basados en el principio de conservación de masa. (PNUMA, 2013)

Otra limitación importante es la gran extensión del Chaco y la geomorfología de abanicos aluviales, por lo cual serían necesarias estaciones hidrométricas (de medición de caudal) no solamente en el cauce principal sino en los cauces que son alimentados por los desbordes durante las crecidas, particularmente en el abanico Pilcomayo. (PNUMA, 2013)

Para utilizar otros métodos, se requiere además contar con registros de las aguas subterráneas, no solamente de la capacidad de los

acuíferos, sino además de la variación de los mismos según el consumo y las variables climáticas, particularmente la precipitación. Esto significa una cantidad suficiente de pozos piezométricos con mediciones durante largo periodo de los niveles del acuífero, así como medidores de consumo de agua o caudalímetros, que midan los volúmenes de agua utilizados provenientes de las diferentes fuentes. (PNUMA, 2013)

1.1.5. Situación del agua en la provincia del Chaco

En el año 1981, y mediante la Ley provincial n° 2499/81, se creó el Servicio de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial (SAMEEP) con la función de proveer servicios de agua y saneamiento a toda la provincia.

Las fuentes de abastecimiento de agua de red en Chaco son fundamentalmente dos: a) agua superficial y el acueducto del Norte, administrados por SAMEEP que afirman proveer al 67% de la población del Chaco y b) las tomas de pozos que componen el 33% restante. Las represas representan una parte casi insignificante de la provisión de agua. (Servicio de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial (SAMEEP), 2007).

De todos modos, la afirmación del SAMEEP pareciera contraponerse a los informes contenidos en el proyecto y reportes presentados al Banco Mundial para la financiación de cloacas y provisión de agua potable a través del Acueducto Norte. Este proyecto se denominó *Norte Grande Hídrico* y está aún en ejecución. (Banco Mundial, 2010) A los datos presentados ante el organismo internacional habría que agregar, por ejemplo, el dato de que Concepción del Bermejo no tenía agua de red hasta el 2014, aunque el SAMEEP afirma tener cubierta la localidad en el año 2007. (Solidagro, 2015)

El nivel de cobertura del servicio de agua y saneamiento de la provincia del Chaco (1.055.259 habitantes, 2010) está distribuido de la siguiente manera (Banco Mundial, 2010):

Porcentajes de cobertura agua y saneamiento de la provincia del Chaco - Fuente: Reporte al Banco Mundial del Ministerio de Planificación

	Cloaca	Agua de red
Sí posee	25%	78%
No posee	75%	22%

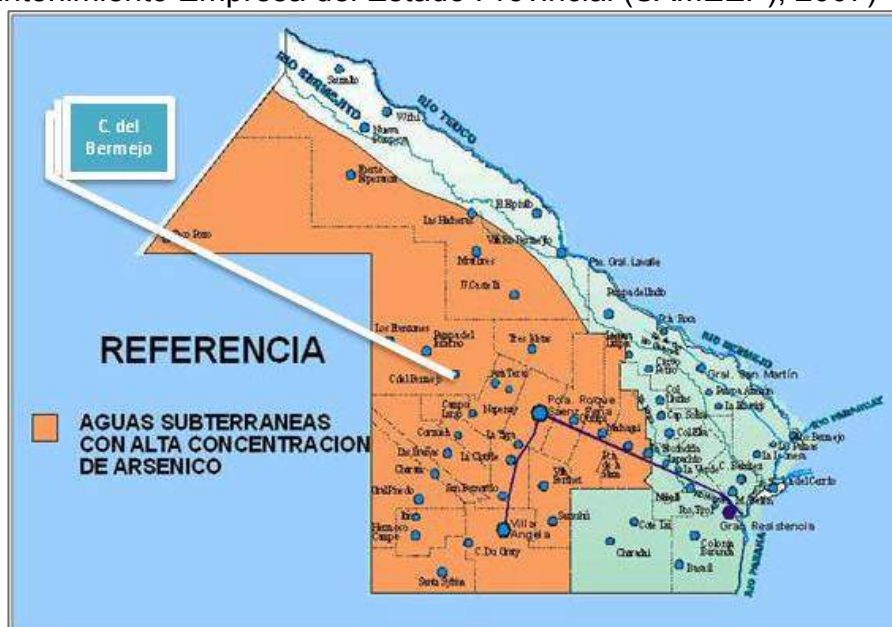
El tipo de origen del agua potable –de acuerdo con el SAMEEP- se puede observar en la siguiente figura:



Fuentes de abastecimiento de agua - Mapa del SAMEEP

La provincia está dividida en zonas sanitarias. Concepción del Bermejo se ubica en la zona sanitaria n°7, Centro Oeste, UDT (Unidad de Desarrollo Territorial) n° 6. (Banco Mundial, 2010)

De acuerdo con lo explicitado, en la zona existen cantidades relevantes de arsénico en las aguas subterráneas. La figura 4 recoge el mapa que para la provincia del Chaco maneja SAMEEP, en relación con la presencia de arsénico en aguas subterráneas. (Servicio de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial (SAMEEP), 2007)



Presencia de arsénico en el agua subterránea - Mapa de SAMEEP

El consumo medio total de agua potable, en la zona oeste de la provincia del Chaco es de 312 l/hab/día. El estudio estima que la media necesaria para las condiciones de la zona es de 467 l/día, por lo tanto se

estaría presentado un desvío general negativo de 33.2% para la región del oeste. (UCPYFE, 2010)

1.1.6. Síntesis y desafíos futuros de ALC con relación al recurso hídrico

Como lineamientos para alcanzar los ODM, las Naciones Unidas acordaron para la región ALC las siguientes pautas operacionales: (UN - World Water Report, 2015)

- Contar con instituciones de gestión del agua que respondan adecuadamente a la naturaleza de los problemas involucrados en la utilización del recurso de acuerdo con usos y costumbres sociales.
- Contar con instrumentos de gestión (derechos de uso del agua, cupos de permisos de vuelco, normas de calidad del agua, gestión de la demanda, etc.) que incrementen el uso de instrumentos económicos como recargos, costo de eficiencia, mercados, evaluación social, etc.
- Contar con autoridades del agua independientes, con poder y recursos adecuados a sus responsabilidades y financiados por las organizaciones de la cuenca hídrica.
- Impulsar la locación y re-locación de sistemas de agua que promuevan inversiones en desarrollo y conservación del agua, asegure la eficiencia y el ordenamiento del uso, evite las prácticas monopólicas y facilite el control del interés público.
- Impulsar sistemas de control de la contaminación del agua que puedan movilizar la tecnología adecuada y los recursos financieros.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente indica que las limitaciones que presenta la implementación, tanto del abastecimiento de agua potable como de los sistemas de saneamiento, se relacionan con la falta de capacitación del recurso humano y los recursos de financiamiento. Los costos de mantenimiento, la falta de competencia técnica y hábitos de uso de agua ineficientes también dificultarían la expansión de la cobertura de agua potable y saneamiento. **Se afirma que el tratamiento y reuso de las aguas residuales podría contribuir a reducir la presión sobre los recursos dulceacuícolas y que debido al vasto número de técnicas y mecanismos disponibles, la posibilidad de replicación de esta política se considera muy alta.** El programa señala que cada país puede elegir y evaluar la combinación que mejor se ajuste a las características locales, considerando las condiciones socioeconómicas, ambientales y políticas, así como los requerimientos de financiamiento. (UN - World Water Report, 2015)

En definitiva, a partir del último reporte mundial del agua, se advertiría que –en varias materias, pero aún más en el tema del reuso del agua- el mundo, la región y el país están todavía transitando la etapa de análisis de experiencias, transferencia de conocimientos, intercambio de lecciones aprendidas y planificación integral para implementar nuevas tecnologías, con una visión de tipo holística.

Argentina presenta dentro de su territorio nacional, las mismas características que ALC de modo continental: buen caudal volumétrico promedio, con gran disparidad de distribución del recurso. Con relación a las recomendaciones para ALC de las UN, habría que agregar la necesidad de contar con estudios de base y experiencias documentadas

regionales, para poder aplicar las decisiones políticas de modo integrado y estratégico.

1.2. Generalidades de la zona de estudio: Concepción del Bermejo

1.2.1. Localización y población

La localización del estudio se encuentra en el Municipio de Concepción del Bermejo, Departamento de Almirante Brown, provincia de Chaco (figura 5), $26^{\circ}35'50''$ de latitud y a $60^{\circ}56'41''$ de longitud, a 110 msnm (metros sobre nivel del mar) de altitud.



Ciudad de Concepción del Bermejo – Fuente: Google

A la localidad la separan entre 20 km y 40 km de distancia de otras localidades de similares características como Avia Terai, Campo Largo y Los Frentones. Las distancias a las dos ciudades de mayor importancia son: 57km hasta Saenz Peña y 97 km hasta Charata. Concepción del Bermejo mantiene un contacto fluido laboral y de intercambio comercial y poblacional con Pampa del Infierno, de la que la separan 26 km (Servicio Geológico Minero Argentino, 2012), de acuerdo con lo que se puede observar en el figura 6.

Con una distribución urbana en cuartos de las manzanas, está ubicada sobre la Ruta Nacional N° 6, (según se puede apreciar en la figura 7) en el km 234, distante a 230 km. de Resistencia, capital de la provincia.



Ciudad de Concepción del Bermejo – Fuente: SIG - SEGEMAR

En la localidad de referencia, se experimentó un crecimiento inter-censal de aproximadamente 70%, pasando de 4.700 habitantes (censo 2001) a aproximadamente 8.000 habitantes (censo 2010). El dato es aproximado –aplicando el tipo de concentración urbana del censo 2001 a los datos departamentales del censo 2010- ya que el cambio en el modo de informar las mediciones censales efectuado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) no ofrece el dato preciso de cantidad de habitantes en cada ciudad (ver también 2.2.2). El departamento tiene una densidad habitacional menor a 20 hab/km². (SISAG, 2009)

El municipio es de segunda categoría y está catalogado como uno de los 200 municipios más vulnerables de la Argentina (Solidagro, 2015). Sin embargo, a partir del año 2009, se comenzó un proceso de evolución importante, a través de la articulación público-privada de acciones de desarrollo. (Solidagro, 2015) (Senado de la Nación - Comisión de Asuntos administrativos y municipales, 2011)

1.2.2. Clima

La región chaqueña corresponde a un centro de baja presión originada en la interacción entre los Andes, vientos del oeste en altos niveles y el calentamiento de la superficie. Esta baja presión se profundiza antes del pasaje de los frentes fríos y desaparece uno o dos días después. Es un sistema caliente, menos intenso en el invierno, que afecta sólo a la baja troposfera (hasta 700 hPa) y frecuentemente está acompañado por subsidencia y, consecuentemente, ausencia de nubosidad. (SISAG, 2009)

El clima de la provincia del Chaco se clasifica como semi-tropical continental. Se caracteriza por altas temperaturas durante la primavera y el largo verano, que llegan ocasionalmente a 45°C -instalándose la

máxima media estival entre los 34°C y los 37°C-, y por la sequía prolongada de abril a noviembre. Durante parte del otoño e invierno (mayo a septiembre) los días suelen ser agradables (18°C a 25°C) con noches frescas (5°C a 12°C), pero se pueden producir olas de calor invernales llegando hasta 35°C, así como también irrupciones de aire frío con temperaturas nocturnas ligeramente por debajo de 0°C, e incluso días con máximas cercanas a los 10°C. (UCPYPFE, 2007)

Los meses de transición (abril y mayo, septiembre y octubre) presentan frecuentemente días con temperaturas estivales, alternados con otras jornadas más frescas. Los volúmenes de precipitaciones anuales actuales varían entre los 500 mm a 1200 mm, (APA, 2005) y se producen casi exclusivamente de noviembre hasta abril (ver punto **¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**), en gran parte con tormentas eléctricas intensas. Es notable en la región la variabilidad de las precipitaciones de un año a otro, reflejándose en los registros años más húmedos y otros con sequías prolongadas. (UCPYPFE, 2007)

De acuerdo a las proyecciones de la temperatura media hasta el 2040 en todo el Gran Chaco para un escenario moderado, se observa una tendencia positiva y con un marcado incremento hacia el 2020. El incremento estimado para la década de 2040 es de 1,2°C. (PNUMA, 2013). Todas las provincias de Argentina dentro de los límites del Gran Chaco, muestran una tendencia positiva de variación de la temperatura media muy similar a la tendencia global que se observa en toda la región. (PNUMA, 2013)

La zona occidental de la provincia del Chaco, donde se encuentra Concepción del Bermejo, pertenece al ecosistema del Chaco semiárido. La clasificación climática es continental, cálida subtropical, con áreas que presentan las máximas temperaturas absolutas del país. La subregión dentro de la que está localizada Concepción del Bermejo se identifica como Chaco semiárido. El perfil climático de la zona de localización tiene las siguientes características específicas (DIES - Laboratorio de Teledetección, 2009):

- Clima: Subtropical con estación seca marcada.
- Temperatura media anual: 21,5°C. (TMJ 15°C – TME 28°C)
- Heladas: (MPH 21/06 – MUH 21/08)
- Porcentaje de años con heladas: 80-100%.
- Precipitaciones: 700mm (O) – 800 mm (E)
- Precipitaciones máximas anuales: 1200 mm
- Precipitaciones mínimas anuales: 350 mm
- ETP Potencial anual: 1150 mm. (O) – 1100 mm. (E)
- Vientos predominantes: N – NE – SE – S – SO (a 2 m y a 10 m)

La evapotranspiración promedio anual de referencia en el oeste de la provincia de Chaco es de 1,57 con la fórmula de Penman-Monteith (José Morábito, 2015)

$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34\mu_2)}$
ET _o = evapotranspiración de referencia [mm/día ⁻¹].

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$].
G = densidad del flujo de calor del suelo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$].
T = temperatura diaria media del aire a 2 m de altura [$^{\circ}\text{C}$].
u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura [m s^{-1}].
e_s = presión de vapor a saturación [kPa].
e_a = presión de vapor actual [kPa].
$e_s - e_a$ = déficit de presión de saturación [kPa].

El MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index), es un índice que mide la sensibilidad de la cubierta verde a la radiación solar, como uno de los modos de obtener parámetros biofísicos de los vegetales. Incluye el impacto de su reflexión en el suelo y el nivel de cobertura de vegetación en el suelo.

En el caso de la zona de estudio del trabajo, el índice MSAVI2 - que se expresa dentro de un rango de 0 a 1-, informado por el Ministerio de Agricultura de la Nación a través del sistema de medición del riesgo agropecuario para la zona de Concepción del Bermejo, en las coordenadas $61^{\circ}11'03''$ de longitud y $26^{\circ}32'21''$ de latitud (ligeramente distintas a la ubicación de coordenadas de la ciudad, correspondientes a zona agrícola) va de 4 a 9, con un promedio regional sostenido de 6,5 a 8,5 según se puede observar en el análisis de mapeo entre los años 2002-2015 en la figura 8. El descenso en el nivel de cobertura vegetal estaría vinculado con la sequía que sufrió la región y que se desarrollará en **¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**

1.2.3. Calidad del agua de pozo en la región

Uno de los temas críticos en la provincia del Chaco referidos al agua es su alto nivel de arsénico. En el año 2013, la secretaría de Medioambiente de la Nación realizó un trabajo de medición de la concentración de arsénico en la zona centro-oeste de la provincia del Chaco. Se analizaron 290 pozos en los que se midió el nivel de arsénico y su vinculación con el pH y con la sales disueltas en agua. Para complementar el trabajo se decidió que se debía analizar la relación existente entre la profundidad de los pozos y perforaciones estudiadas respecto de la concentración de arsénico total presente en las mismas. (Giménez, Benítez, Osicka, & Garro, 2013)

En las conclusiones, se señala que la concentración de arsénico según zonas de muestreo permite confirmar un alto grado de contaminación de aguas subterráneas de la región. Se encuentra presencia de arsénico en concentraciones superiores a las establecidas por la OMS (se toma 0,05 mg/l vigente al momento del muestreo) a pH neutro o alcalino. No se encuentra un patrón de correlación entre concentración de arsénico y otros parámetros

analizados, como cloruros, sulfatos y dureza total. Tampoco hay una correlación directa entre profundidad y presencia de arsénico, encontrándose iguales concentraciones a distintas profundidades (Giménez, Benítez, Osicka, & Garro, 2013)

Los resultados correspondientes a la subzona RIAN Agrícola Forestal del Impenetrable -denominada de esta manera por la Red de Información Agropecuaria Nacional (RIAN) perteneciente al INTA-, a la que pertenece Concepción del Bermejo, arrojaron resultados que superan en un 38% los máximos indicados por la OMS (0.05 mg/l); estos resultados se atribuyen a contaminación natural de la región. (Giménez, Benítez, Osicka, & Garro, 2013)

A la presencia de arsénico, se suma un exceso natural de sales en el agua. (Franco, 2015) De modo genérico, en el Noroeste Argentino (NOA) se evidencian con claridad problemas asociados a la salinidad en el agua, y es de particular relevancia la contaminación de pozos subterráneos (someros y profundos). Esta situación acontece particularmente en las regiones Chaco y Puna, zonas que además resultan marginadas geográfica y políticamente. (Franco, 2015)

1.2.4. Calidad del agua de pozo en Concepción del Bermejo

Durante los años previos a la toma de decisión sobre el método de provisión de agua potable domiciliaria, se hicieron en Concepción del Bermejo análisis de muestras de agua de pozos de extracción domiciliaria con vistas a obtener un perfil de calidad de agua que permitiera optimizar la elección de la planta de tratamiento eventual. Los datos de las muestras de los cinco pozos examinados en el 2010, arrojaron los siguientes resultados (Solidagro, 2015), recogidos en la tabla consignada a continuación. Los pozos han sido numerados de modo correlativo en el trabajo para facilitar el estudio; en el momento de hacer las tomas de las muestras y los análisis, se consignaron los nombres de los dueños de las propiedades como referencia, sin mayores indicaciones. (Solidagro, 2015)

Análisis de muestras de agua de pozo en C del Bermejo - año 2010

	Unidad	Valor hallado en las muestras de pozos de Concepción del Bermejo 2010					Valor referencia consumo humano
		1	2	3	4	5	
Color	PtCo	Incoloro	Marrón claro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incolora
Olor	-	Inodoro	Fétido	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodora
Turbiedad	NTU	No presenta	Leve	No presenta	No presenta	No presenta	Hasta 3 NTU
pH	-	7,9	8,2	8,1	7,8	7,1	6,5 - 8,9
Conductividad	mS/cm	7570	2260	1648	6830	2940	Acotada por STD
Alcalinidad total	mg/l CO ₃ Ca	800	150	50	820	640	Por confort
Arsénico	mg/l	3,02	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01
Cloruros	mg/l	1900	677	400	1800	435	350 Por confort
Sodio	mg/l	1200	4440	260	1120	280	Por confort
Hierro	mg/l	0,40	0,25	0,12	0,7	0,25	2
Dureza total	mg/l CO ₃ Ca	390	25	185	375	345	400 Por confort
Flúor	mg/l	0,08	0,12	0,1	0,2	0,12	0,80
Nitritos	mg/l	0,04	0,05	0,05	0,06	3,00	0,10
STD	mg/l	5600	1500	1200	5500	2200	1500
Dureza	mg/l	675	60	150	675	560	400 Por confort
Calcio	mg/l	335	60	60	335	250	Sin límite
Magnesio	mg/l	80	10	22	80	75	Sin límite

En el año 2012 se volvieron a analizar otros 5 pozos diferentes. Los datos de laboratorio se resumen en la tabla 2 y los pozos siguen la numeración de modo correlativo con relación a la tabla 1. Para la identificación del origen de las muestras, se siguió un criterio similar al del año 2010, aunque se eligieron diferentes propiedades a fin de tener un espectro más amplio. (Solidagro, 2015)

Análisis de muestras de agua de pozo en C del Bermejo - año 2012

	Unidad	Valor hallado en las muestras de pozos de Concepción del Bermejo 2012					Valor referencia consumo humano
		6	7	8	9	10	
Color	PtCo	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Incolora
Olor	-	No perceptible	No perceptible	No perceptible	No perceptible	No perceptible	Inodora
Turbiedad	NTU	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Perceptible	Max3 NTU
pH	-	7,52	7,04	7,25	6,75	7,29	6,5-8,9
Conductividad	mS/cm	6130	2560	6000	3490	11960	Acotada por STD
Alcalinidad total	mg/l CO ₃ Ca	691	637	770	538	869	Por confort

Arsénico	mg/l	0,25	0,40	0,15	0,05	0,05	0,01
Cloruros	mg/l	454	170	510	284	1134	350 Por confort
Sodio	mg/l	1300	600	1500	850	2400	Sin límite
Hierro	mg/l	0	0,01	Ld	Ld	0,01	2
Sulfatos	mg/l	758	1121	1259	953	4389	400 Por confort
Flúor	mg/l	2,8	2,00	2,80	1,8	3,5	0,80
Nitritos	mg/l	0,01	0	0	0,79	0,01	0,10
STD	mg/l	4597,5	1920	4500	2618	8970	1500
Dureza	mg/l CO ₃ Ca	625	262	714	588	1488	400 Por confort
Calcio	mg/l	91	59	129	110	243	Sin límite
Magnesio	mg/l	130	49	142	116	303	Sin límite
Nitratos	mg/l	14	Ld	35	49	5	45
Potasio	mg/l	32	26	41	52	23	Sin límite
Bicarbonatos	mg/l	691	637	770	538	869	Sin límite
Carbonatos	mg/l	0	0	0	0	0	Sin límite

Con relación al arsénico, se observa que 8 de las 10 muestras presentan niveles superiores a los aceptables, y las 2 restantes presentan niveles de 0,05mg/l, ubicándose en una zona de frontera.

Comparativa de los 10 pozos: valores con relación a los máximos permitidos

Pozo	Arsénico	Sulfatos	Flúor	Cloruros	Nitritos y nitratos	TSS
1	Superior a 0,05mg/l	Normal	Normal	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia
2	Superior a 0,05mg/l	Normal	Normal	supera valor referencia	Normal	Límite
3	Superior a 0,05mg/l	Normal	Normal	supera valor referencia	Normal	Normal
4	Normal	Normal	Normal	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia
5	Normal	Normal	Normal	supera valor referencia	supera valor referencia	supera valor referencia
6	Superior a 0,05mg/l	supera valor referencia	supera valor referencia	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia
7	Superior a 0,05mg/l	supera valor referencia	supera valor referencia	Normal	Normal	supera valor referencia
8	Superior a 0,05mg/l	supera valor referencia	supera valor referencia	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia
9	Tolerable 0,05mg/l	supera valor referencia	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia	supera valor referencia
10	Tolerable 0,05mg/l	supera valor referencia	supera valor referencia	supera valor referencia	Normal	supera valor referencia
	80%	50%	50%	80%	20%	90%

Tabla comparativa de los 10 pozos: parámetros del perfil de calidad del agua

Pozo	Dureza	Salinidad	Turbiedad	Color & olor	pH
1	supera valor referencia	Salobre		Sin problemas	
2		Salada	Presenta	No tolerable	
3		Salobre		Sin problemas	
4	supera valor referencia	Salobre		Sin problemas	
5	supera valor referencia	Salobre		Sin problemas	
6	supera valor referencia	Salobre	Presenta	Con problemas	
7		Salobre	Presenta	Con problemas	
8	supera valor referencia	Salobre	Presenta	Con problemas	
9	supera valor referencia	Salobre	Presenta	Con problemas	Ligeramente ácida
10	supera valor referencia	Salobre	Presenta	Con problemas	

En la simplificación de análisis de las tablas, se puede observar que ninguno de los pozos presenta parámetros que hagan al agua extraída susceptible de ser ingerida sin riesgo para la salud humana. En todos los casos existen valores que, para ser removidos, exigen algún tipo de equipamiento técnico específico.

En un re-control de parámetros de laboratorio se advierten algunas incongruencias de cierta importancia en la información sobre cálculos de dureza total y conductividad. Esta circunstancia pudo pesar, finalmente, en las decisiones que tomadas acerca del tratamiento de desalinización y potabilización que aplicados o de las necesidades de mantenimiento y servicio de la misma.

También se advierte en la misma serie que, aunque el laboratorio haya omitido la utilización de las unidades estandarizadas para la medición de turbiedad y color, en ambos parámetros la falta de aptitud de la calidad del agua para consumo humano es perceptible a simple vista.

Por tanto, podría concluirse afirmando que, a partir de los datos reunidos y con excepción del agua de lluvia recolectada a través de aljibes y conservada con el añadido de cloro en las cisternas, no hay garantía de fuentes de agua con los parámetros de calidad que la hagan adecuada para consumo humano en la zona, sin riesgo para la salud y/o de características organolépticas satisfactorias.

Esto lleva, en consecuencia, a la necesidad de un establecer un sistema de potabilización que abarque el conjunto de las unidades habitacionales.

1.3. Acceso al agua

1.3.1. Acceso al agua potable en Chaco hasta el año 2012

El acceso al agua potable en las diferentes localidades de la provincia de Chaco se ha intentado medir con un índice de criticidad, llamado ICAA (Índice de Criticidad de Acceso al Agua) cuyo puntaje mínimo para el acceso al agua se califica con 6 y el máximo acceso al agua en 0. Se trata de una construcción estadística que tuvo como origen los datos de porcentajes de todas las categorías de la variable “procedencia de agua para beber y cocinar” en cada uno de los municipios de la provincia. El valor porcentual de cada categoría se estandarizó y el acceso al agua por red pública fue la única categoría que se consideró beneficiosa para la población, mientras que las otras categorías tuvieron una consideración opuesta. (Ramírez, 2013)

$$\text{ICAA} = \Sigma (-\text{StRP} + \text{StPBMt} + \text{StPBMn} + \text{StPz} + \text{StTC} + \text{StLICRAA})$$

Donde:

ICAA=	Índice de criticidad de acceso al agua saludable (sic)
St =	Proporción estandarizada
RP =	Red Pública
PBMt =	Perforación con bomba a motor
PMMN =	Perforación con bomba manual
Pz =	Pozo
TC =	Transporte por cisterna
LICRAA =	Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia

El mayor valor que podría haber alcanzado el ICAA es 6, esto es, la situación más desfavorable. Mientras que la situación más ventajosa sería la expresada eventualmente por el 0. (Ramírez, 2013)

En promedio, el índice obtenido por este estudio para la provincia del Chaco ubicó a 153.000 hab en el cuartil más crítico, con un índice de criticidad muy alto -superior a 2,42- y a 109.000 hab con un índice de criticidad alto -superior a 1,21-, confirmando la necesidad de proveer con obra pública el acceso al agua potable para el 25% de la población de la provincia del Chaco. (Ramírez, 2013)

La construcción de este índice apoyó el proyecto preexistente del Acueducto del Norte y otras obras públicas que ya estaban programadas, pero que se volvieron acuciantes debido al descenso sostenido del nivel de las precipitaciones y a la sequía descripta, que se extendió por casi cinco años. (Ramírez, 2013)

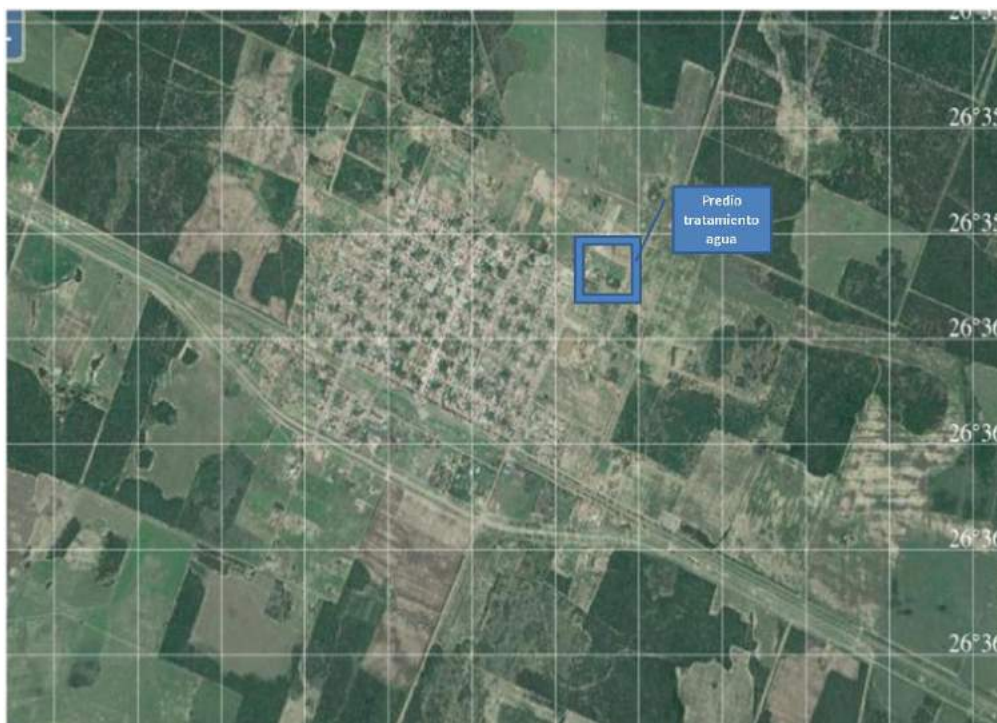
1.3.2. Disponibilidad acceso al agua potable en Concepción del Bermejo hasta 2012

Tomando como referencia el estudio mencionado en 1.3.1, la zona de Concepción del Bermejo arrojó como resultado un ICAA de 4,7 ubicándose en el rango de mayor desventaja en el acceso. (Ramírez, 2013). Además del origen del agua provisión para bebida, en el estudio se tuvo en cuenta como parámetro los informes de la ONU de 2013, que considera que la provisión de agua potable mínima por persona se debiera ubicar entre los 20 y los 50 l/día, con un mínimo de 7,5 l para bebida y comida. (Ramírez, 2013)

Cuando llueve en la zona de los Bajos Sub-meridionales, el agua que penetra al sistema subterráneo diluye las aguas dentro del acuífero que está constituido por aguas de diferente calidad y densidad,. (INA, 2015)

1.4. Agua de red en Concepción del Bermejo después del 2012

Sobre la base de los resultados obtenidos, y luego de 7 meses sin lluvias, a fines del año 2012, la Municipalidad tomó la decisión de avanzar con la instalación de una planta potabilizadora municipal, para la provisión de agua potable de la zona urbana. (Solidagro, 2015)



Ubicación del predio elegido para la planta de ósmosis inversa.

El predio se ubica en el lugar donde ya estaba montada una estructura de concreto para almacenamiento de agua, en un extremo de la zona urbanizada, de acuerdo con lo que se puede ver en la figura 28.

Dentro del predio se levantaron algunas estructuras y se adecuaron otras preexistentes para preparar el terreno a la operación de la planta:

- Galpón para la instalación del equipo de tecnología de desalinización
- Casilla para la instalación de la bomba trifásica del cisterna
- Movimiento de terreno para soterramiento de cables y caños
- Tablero de electricidad en infraestructura preexistente para la alimentación eléctrica de las bombas de extracción

Sin embargo, la preparación del predio para operar como planta potabilizadora no incluyó:

- Cierre perimetral del terreno, medidas de seguridad y restricción de acceso de personas y animales domésticos.

- Sistemas de señalización de planta, circuitos de circulación peatonal y vehicular, playa de descarga, identificación de estructuras.
- Aplicación de algún tipo de codificación estandarizada para identificar equipos, instalaciones, materiales y sustancias.
- Locales exclusivos para almacenamiento de productos y medidas de seguridad para su manipulación, uso y disposición final.
- Sistemas de recolección diferenciada, almacenamiento temporal estandarizado y disposición de residuos. Prohibición de quema de poda dentro del predio.

1.4.1. Planta de agua potable

1.4.1.1. Perforaciones en el predio

En marzo de 2013, se hicieron las primeras perforaciones al acuífero semi-confinado (entre los 23 y los 26 metros) para lo que se contó con dinero gestionado a partir de fondos privados y municipales. En total se realizaron 15 perforaciones, de las cuales están productivas 9, de acuerdo con la figura 29. El nivel técnico de las perforaciones es rudimentario, los caños son de PVC de baja calidad (entre 1,8 y 3 mm, blancos, utilizados habitualmente para desagües pluviales) ranurado; no se cuenta con tapas, ni espacio anular de cemento o cemento bentonítico, ni se colocó prefiltro de grava o gravilla antes del filtro ranurado.

Hasta marzo de 2016, el agua extraída de los pozos se utilizaba en su totalidad para la alimentación de las RO. La política de rotación de uso de los pozos no está definida; éste es un tema ajeno al objetivo de la tesis que deberá tomarse en cuenta, sin embargo, para las recomendaciones generales de gestión del recurso.

Ni en el período de desarrollo de las perforaciones, ni en el de explotación se hicieron fichas de pozo. El control de los mismos es básico y se ha delegado en cierta manera en el equipo técnico de mantenimiento de la empresa que vendió las plantas de ósmosis inversa. (Solidagro, 2015)



Ubicación de las perforaciones de pozos activos en el predio – Georreferenciación de los pozos efectuada por la APA en enero 2016

1.4.1.2. Instalación de los equipos de tratamiento del agua

La Municipalidad adquirió en la empresa Bridge Hydrogen s.a. un equipo de ósmosis inversa (en adelante RO, por sus siglas en inglés), que se encuentra en uso desde fines del 2013. En el transcurso del año 2014, se instaló el segundo equipo de ósmosis inversa, donación del gobierno provincial. (Solidagro, 2015) Las características de los equipos adquiridos se detallan a continuación en la tabla a continuación.

Características de los equipos de ósmosis inversa (RO) de la planta potabilizadora

	Equipos	
	RO1	RO2
Nombre	OR 128	OR 208
Características	OR 128	OR 208
Hs trabajo / día	24	12
Conductividad alimentación (mS/cm)	7380	10500
Conductividad de permeado (mS/cm)	140	375
Presión de alimentación Kg/cm ²	15	15
Caudal alimentación (l/h)	18193	21700
Vol. alimentación (m3/d)	436	260
Caudal permeado (l/h)	7798	8700
Vol. permeado (m3/d)	187	104
Caudal brine (l/h)	10395	13000
Vol. brine (m3/d)	321	156
Conversión	43%	40%

El equipo RO1 se encuentra en funcionamiento las 24 horas del día. El equipo RO2 funciona 12 horas por día. Entre ambos equipos se provee un caudal de 15.000 l/h. Luego del proceso de ósmosis inversa se efectúa también la cloración. Ambos equipos envían el permeado a

un tanque cisterna de 200.000 l de capacidad. Al momento de la instalación de los equipos, el rechazo salino de 11.000 l/h se descargó en una laguna sin membrana de fondo a cielo abierto a 400 m de distancia de la planta, de donde se tomaba para procesos de pavimentación, riego de calles y construcción de obras públicas. (Solidagro, 2015)

1.4.1.3. Almacenamiento de agua cruda, pretratamiento

La alimentación de los equipos se hace a partir de los pozos del predio. El agua se toma y se hace pasar por dos tanques australianos elevados, de 160.000 l cada uno, cubiertos por sobreposición de planchas de chapas acanaladas. El primero de ellos funciona como desarenador, y el segundo como sedimentador. Entre ambos se colocó un filtro. Sin embargo, durante la visita de febrero de 2016, el equipo que trabaja en la planta afirmó que ya no existe el filtro y que desconocen el motivo por el cual se quitó.

A inicios del año 2015, se agregaron 2 tanques plásticos de distribución de caudal entre los tanques australianos y los equipos RO1 y RO2. Cada uno tiene una capacidad de 10.000 l. No tienen dosificación.

El tiempo de retención no está definido técnicamente. De todos modos, los frecuentes cortes en el suministro eléctrico –diarios, durante en épocas de mayor demanda- que sufre la ciudad, hace que los tiempos de retención sean a la fuerza variables. Los tanques de almacenamiento funcionan entonces como buffers del circuito.

No existen, por tanto, tratamientos de coagulación ni filtración para reducir los SST de ingreso a la planta de RO ni se ha medido SDI₁₅. Hay que tener en cuenta la precariedad de la construcción de los pozos, las mediciones de color, SST, etc. medidas en los análisis del agua de pozo (, el tiempo de retención al que es sometida el agua antes de su ingreso a las membranas. De allí se concluye que, en lugar de establecer el buffer en el agua permeada y clorada, etc., se está configurando un conjunto de temas que, si bien ajenos al desarrollo de esta tesis, deben ser mejorados a fin de tener un buen rendimiento de las membranas de RO y estandarizar su vida útil.

1.4.1.4. Sistema de provisión del agua potable

El caudal obtenido entre ambos equipos provee agua potable al 80% de la población a través de 10.000 m de cañerías de distribución que llegan a cada una de las manzanas de 4/5 de la ciudad. Los vecinos pueden extender la red hasta la puerta de su casa, llenar contenedores para uso directamente de la canilla pública o conectar una manguera para llenar la cisterna o aljibe de su domicilio. De este modo, se logra pasar de un porcentaje de acceso al agua potable del 30% en 2001 al 80% en el año 2015. (Ramírez, 2013) (Solidagro, 2015)

La población está dividida en cinco sectores y a cada sector se le envía agua potable tres veces por semana, para ser almacenada en tanques cisterna de concreto, aljibes o tanques plásticos. Se llega al sector por cañería subterránea que termina en una toma con válvula. A

ésta se conectan caños de ¾" que pasan por debajo de la calle y salen a nivel de suelo enfrente de las casas: los propietarios encastran su propia manguera y llenan los tanques de sus domicilios. El sistema se sostiene económicamente a través de una tarifa mensual (que llaman erróneamente canon) por servicio de agua potable, cobrado con los impuestos municipales. (Solidagro, 2015)

1.4.1.5. Disposición del brine salino

El rechazo de la RO se dispuso inicialmente en un predio vecino a la planta, en dirección SE con relación a la planta. Durante aproximadamente 12 meses se negoció para que la empresa que trabajaba en obras de la ruta tomara el brine y lo utilizara en su proceso. (Solidagro, 2015)

En el año 2015 se modificó la localización de los volúmenes de rechazo y se redirigió el brine en dirección E, con relación a la planta. Debido a que el caudal de lluvias del verano 2014-2015 fue superior al de los años previos, ubicándose por encima de los 110 mm/mes durante 4 meses seguidos (APA, 2015), se produjo una escorrentía superficial y una intrusión en los pozos de extracción. A raíz del inconveniente se modificó la localización de la disposición del brine salino, esta vez en dirección N con relación a la planta. La distancia entre la laguna de recolección del rechazo y los pozos de alimentación no es mayor a los 20 m. (Solidagro, 2015)

En ningún caso se hizo una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), ni un Estudio de Impacto Ambiental (EslA) de la afectación posible del agua salina sobre la cobertura vegetal, las consecuencias de su infiltración, la concentración por evaporación, etc. Tampoco se realizaron estudios técnicos, que acompañaran las indicaciones iniciales de instalación de la empresa que vendió los equipos. (Solidagro, 2015)

Ninguna de las 3 lagunas utilizadas sucesivamente se preparó con membrana sintética o capa de material impermeabilizante para prevenir filtraciones verticales. (Solidagro, 2015)

El manejo del brine y su impacto ambiental es un aspecto - también ajeno al desarrollo de esta tesis-, que será importante incorporar a las recomendaciones para mejorar la gestión ambiental global.

1.4.2. Calidad del agua de alimentación, permeado y provisión

1.4.2.1. Agua de alimentación

En enero de 2016, se tomaron muestras y se analizó el agua provista por 7 de los 9 pozos productivos en el predio de la planta. Los restantes 2 no se pudieron muestrear por presentar problemas técnicos en el bombeo y encontrarse fuera de uso. Los resultados se presentan en la tabla a continuación.

Tabla Análisis pozos en producción febrero 2016 - Predio planta de agua Concepción del Bermejo - Laboratorio de APA

	Unidad	Valor hallado en las muestras de pozos de Concepción del Bermejo 2016							Valor ref consumo humano
		1	2	3	4	5	6	7	
Color Pt-Co	PtCo	10	10	10	10	10	10	10	Hasta 5
Olor	-	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodora
Turbiedad	NTU	9	7	7	6	9	8	8	Max 3NTU
pH	-	6,9	7	7,5	7	7	6	7	6,5 - 8,5
Conductividad	mS/cm	6640	6150	7860	9210	8450	5790	6850	Acotada por STD
STD	mg/l	4316	3998	5109	5987	5070	3474	4110	Max 1500
Alcalinidad total	mg/l CO ₃ Ca	474	550	574	630	570	480	554	Por confort
Dureza total	mg/l CO ₃ Ca	1080	730	960	980	1020	670	950	Max 400 Por confort
Carbonatos	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	Sin límite
Bicarbonatos	mg/l	578	671	700	769	695	586	676	Sin límite
Cloruros	mg/l	590	520	620	810	710	560	580	Max 350 Por confort
Sulfatos	mg/l	1550	1450	1785	2150	1975	1320	1485	Max 400 Por confort
Nitritos	mg/l	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,2	0,2	Max 0,1
Nitratos	mg/l	9	38	25	14	26	44	31	Max 45
Arsénico	mg/l	0,10	0,05	0,07	0,07	0,10	0,05	0,05	Max 0,01
Calcio	mg/l	352	234	280	314	282	0	304	Sin límite
Magnesio	mg/l	49	35	63	48	76	163	46	Sin límite

Con relación a los pozos analizados en la etapa previa a la instalación de la planta y presentados en el punto 1.2.4, los pozos que se localizan en el predio muestran algunas diferencias (aunque es necesario advertir que en los informes de laboratorio, se trabajó con diferente listado de parámetros a medir, lo que debilita la posibilidad de una comparación estricta):

- Menor alcalinidad del agua y en un caso, ligera acidificación
- Presencia de color, aunque en los resultados de laboratorio (años 2010 y 2012) no se informó en PtCo el color, por lo que la precisión de la comparación es menor.

1.4.2.2. Permeado

Con respecto al permeado obtenido de las plantas de RO, se analizó una muestra a la salida de las membranas. Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

Análisis de calidad del agua del permeado de RO de Concepción del Bermejo - Laboratorio de la APA

	Unidad	Resultado	Valor ref consumo humano
Color Pt-Co	PtCo	5	Hasta 5
Olor	-	Inodora	Inodora

Turbiedad	NTU	2	Max 3NTU
pH	-	7	6,5 - 8,5
Conductividad	mS/cm	180	Acotada por STD
STD		135	Max 1500
Alcalinidad total	mg/l CO ₃ Ca	20	Por confort
Dureza total	mg/l CO ₃ Ca	50	Max 400 – Por confort
Carbonatos	mg/l	0	
Bicarbonatos	mg/l	24	
Cloruros	mg/l	70	Max 350 - Por confort
Sulfatos	mg/l	45	Max 350 - Por confort
Nitritos	mg/l	ND	Max 0,1
Nitratos	mg/l	9	Max 45
Arsénico	mg/l	ND	Max 0,01
Calcio	mg/l	16	
Magnesio	mg/l	2	

Se hace notar que no se indica el límite de detección del método aplicado para As y NO₂⁻.

El agua de red domiciliaria se distribuye de acuerdo con el sistema de zonas explicado anteriormente. Para hacer un control de la calidad bacteriológica con la que llega a los puntos de toma de las conexiones domiciliarias, se eligieron tres sitios distribuidos en diferentes zonas de la ciudad, de acuerdo con lo que se puede ver en la figura. (Solidagro, 2016)



Distribución de las tomas de muestras de agua provision

1.4.2.3. Agua potable de red

Los resultados de los análisis del agua se recogen en la tabla 10

Tabla 1 - Análisis bacteriológico agua provisión en canillas públicas Concepción del Bermejo - Laboratorio de APA

Parámetro	Unidad	Identificación puntos de muestreo			Valor ref consumo humano
		01	02	03	
Color Pt-Co	PtCo	5			Hasta 5
Olor	-	Sin olor			Inodora
Turbiedad	NTU	1			Max 3NTU
pH	-	7,6			6,5 - 8,5
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 3,0			< ó = 3
E. Choli	NMP/100 ml	Ausencia			Ausencia en 100 ml
Pseudomonas aeruginosa	UFC/100 ml	Ausencia			Ausencia en 100 ml
Bacterias mesófilas (APC24hs 37°C)	UFC/100 ml	< 500			Max.500 UFC/100 ml
Conductividad	mS/cm	1106			Acotada por STD
STD		664			Max 1500
Alcalinidad total	mg/l CO ₃ Ca	130			Por confort
Dureza total	mg/l CO ₃ Ca	68			Max 400 – Por confort
Hierro	mg/l	0			Mas 0.3
Fluor	mg/l	03			Límites: inf. 0.6 – sup. 0.8
Cloruros	mg/l	212			Max 350 - Por confort
Sulfatos	mg/l	82			Max 350 - Por confort
Nitritos	mg/l	0			Max 0,1
Nitratos	mg/l	2			Max 45
Arsénico	mg/l	0.005			Max 0,01
Calcio	mg/l	8			Sin límite
Magnesio	mg/l	12			Sin límite

Los resultados informados por el laboratorio, presentan disparidades en el cálculo de algunos parámetros. Sin embargo, y a los efectos del presente trabajo, se puede ver que la calidad del agua se ubica dentro de los rangos de aceptabilidad para consumo humano, blanda, de rango salino bajo, nivel de arsénico al 50% del límite nacional. El flúor no alcanza, sin embargo, el límite mínimo recomendado, aunque su ausencia no es directamente perjudicial para la salud.

1.4.3. Debilidades del sistema

Como se puede advertir, el Municipio ha impulsado acciones técnicas para la solución de los problemas hídricos descriptos en la caracterización de la región y la localidad. La implementación de estas acciones presenta las siguientes debilidades:

1.4.3.1. Relación calidad / usos

La población de Concepción del Bermejo que se encuentra conectada a la red de distribución del permeado, utiliza el agua para todo destino, sin discriminación de calidades. Se puede con facilidad dar el caso de que el agua se utilice tanto para beber –en cuyo caso la calidad es la correcta-, como para el lavado de vehículos –para la que puede utilizarse exitosamente una calidad inferior-. Es obvio a este respecto que es necesario desarrollar campañas de concientización, control, etc.

1.4.3.2. Rendimiento del volumen de agua dulce obtenida

Lo que ocurre en la práctica de la gestión domiciliaria del agua potable es que el recurso, una vez utilizado y transformado en aguas grises / negras, no se aprovecha de modo sistemático y generalizado para usos que requieran de una calidad menor -desde el punto de vista microbiológico y de contenido de materia orgánica- ni se implementan tratamientos que permitan alcanzar esos usos, aprovechando el proceso previo de remoción de sales y sólidos de la RO.

1.4.3.3. Persistencia de la percepción de escasez del recurso

Simultáneamente, la población sigue sin tener agua para recreación, riego, bebida de ganado, limpieza de instalaciones, etc.; frecuentemente se usa el agua dulce potable para dichos usos.

Como el agua se distribuye en determinado días y momentos , y se sufren las consecuencias de la ausencia de gestión técnica, la percepción de que no se acaba de acceder al recurso persiste en la población de modo general.

1.4.3.4. Eficiencia económica del recurso

Existe una subutilización de la calidad del agua obtenida y un sobre uso del recurso escaso de agua dulce. Además, se podría afirmar que existe una pérdida económica de la inversión realizada, ya que no se estaría alcanzando una eficiencia aceptable en la utilización del recurso escaso. Esto contribuye a que el agua sea un recurso muy caro, por su escasez, lo costoso de su obtención y distribución, y el bajo rendimiento en su utilización.

1.4.3.5. Dificultades técnicas

La elección de la tecnología de RO no se acompañó con la contratación de técnicos suficientemente capacitados para su gestión, mantenimiento diario, limpieza química y/o manual, monitoreo, evaluación de la correcta toma de decisiones en el pretratamiento y el la disposición del brine. Esto se manifestó en frecuentes dificultades en la operación de las plantas, con las consecuentes interrupciones del servicio.

En síntesis, en Concepción del Bermejo se toma un agua salina y arsenical, y se entrega agua dulce y segura) a través de la red de distribución. Sin embargo, los resultados de ese esfuerzo no tiende a maximizarse ya que esa agua no se vuelve a utilizar y se tira, a veces sólo después de haber lavado los alimentos que se van a cocinar. Por tanto, el costo final del recurso de agua dulce domiciliaria es muy alto (sea quien sea el que lo paga, estado o particular).

2. IDEA – SOLUCION PROPUESTA

Para un área delimitada de Concepción del Bermejo, se sugiere una prueba piloto de tratamiento de aguas residuales para reuso y, luego, la ampliación del servicio a toda la localidad.

El tratamiento debiera hacerse por métodos que sean al mismo tiempo:

- **Naturales**
- **Económicos**
- **Técnicamente accesibles**
- **Socialmente aceptables**
- **Productivamente convenientes**

En una zona de alto stress hídrico, -como Concepción del Bermejo- con las características recogidas, en la que se implementa una tecnología sofisticada para producir agua potable (bebida, comida y otros usos) esta implementación conlleva un alto costo.

La ubicación de la localidad, alejada de centros industriales con mayor acceso a profesionales y recursos técnicos, dificulta la gestión de la tecnología y el mantenimiento de la planta. A su vez, por corresponder a una localidad con prevalencia de población de bajos recursos económicos, la financiación de la adquisición y mantenimiento de una planta de las características descritas en necesita ser subvencionada, al menos parcialmente.

Esta situación se repite en las 5 localidades vecinas mencionadas. También son circunstancias de muchos otros pueblos de Argentina. Se elige Concepción del Bermejo como caso emblemático, para instalar una prueba piloto.

El monitoreo y evaluación permitirían su difusión en las demás localidades de la zona.

2.1. Proceso de trabajo seguido durante la investigación previa

2.1.1. Primera visita y perfil hídrico de la localidad

Para la primera etapa del trabajo, se entrevistaron las autoridades de la localidad a fin de obtener la autorización de acceso a la información que obraba en poder de la municipalidad sobre los perfiles de pozos públicos de agua. El trabajo comenzó en el momento en que

en la planta de tratamiento se iniciaban las obras para desarenador y el sedimentador para el agua de alimentación de la RO, en febrero de 2015.

A partir de ese momento, toda la información vinculada a los análisis preliminares de agua provisión y planta de potabilización recogida en este trabajo sobre Concepción del Bermejo fue provista y/o coordinada con las autoridades del Municipio y la APA.

Como resultado de la carencia de profesionales técnicos en la localidad y debido a la incipiente etapa del proceso de provisión agua y saneamiento, todavía no se encuentra sistematizada la información, evaluación y monitoreo de los servicios hídricos de la Municipalidad de Concepción del Bermejo. En la misma línea, las tareas de mantenimiento de la planta no revisten carácter profesional, observándose con frecuencia situaciones de fallas en seguridad, falta de un sistema estandarizado de conservación de la higiene en los locales, pobre mantenimiento de equipos, desconocimiento de los principios impulsores del RO y de sus requerimientos de alimentación y conservación.

Debido a lo apuntado en el párrafo anterior, durante el desarrollo de las reuniones mencionadas se entregó un estudio como base eventual de futuros trabajos de caracterización climática, geológica e hidrogeológica previa al desarrollo de pozos.

2.1.2. Caracterización de la red – efluentes

La información de la primera caracterización físico-química del agua de 10 pozos, obraba en poder de la Municipalidad.

No existía al inicio del presente trabajo, registro ni memoria de ningún análisis bacteriológico del agua de pozos o del agua potable, ni por parte de SAMEEP, ni por parte de la Municipalidad.

A partir de enero de 2016, el gobierno provincial adjudicó a la APA la supervisión, capacitación y monitoreo de los servicios de provisión de agua potable de la provincia, quedando la operación a cargo de las autoridades de cada Municipio o Comuna. Desde el mes de febrero de 2016, se coordinó el trabajo técnico con la APA para determinar el perfil físico-químico-microbiológico del vuelco de agua residual y alinear los parámetros mínimos de diseño de un proyecto de tratamiento.

En febrero de 2016, se tomó una muestra de agua del tanque cisterna que recibe el permeado de las dos plantas de RO para su análisis. Los análisis se efectuaron en los laboratorios que la APA tiene en Resistencia.

2.1.3. Reunión técnica con las autoridades y con el APA

Durante febrero de 2016, se presentó -a los ingenieros del APA a cargo de la zona y a las nuevas autoridades del lugar- el análisis geológico, climático e hidrogeológico de Concepción del Bermejo. Durante la presentación, también se revisó el perfil inicial del agua potable teniendo en cuenta los aspectos de caudal, distribución, puntos de descarga e identificación de zona puntual de referencia para el trabajo.

A partir de ese momento y hasta el final del trabajo, se coordinó con la APA el avance del trabajo.

2.1.4. Tomas de muestras y análisis de agua provisión de pozo, potabilizada y distribuida

Los análisis del agua de pozos previos a 2014, fueron realizados en los laboratorios de la ciudad de Charata y de la Universidad Nacional del Chaco Austral. No se conserva protocolo seguido en esa toma de muestras, ni perfiles de los pozos muestreados.

Las muestras de agua de pozo analizadas a partir de la presente investigación fueron tomadas de los pozos municipales, dentro del predio donde se encuentra la planta potabilizadora en funcionamiento. La muestra de agua potable fue tomada de la cisterna de almacenamiento de dicha planta. Las muestras de agua de provisión domiciliaria fueron tomadas de tres canillas públicas a las que llega por el sistema de distribución de la red tendida en el período 2013-2014. Las muestras colectadas fueron rotuladas, conservadas a 4°C en recipientes lavados con solución nítrica al 30%, y se mantuvieron refrigeradas hasta el momento de su análisis, efectuado dentro de las 6 horas de su recolección. Todos los análisis fueron realizados por triplicado por la APA.

2.2. Establecimiento del perfil del agua a tratar

2.2.1. Determinación del volumen de agua de dotación domiciliaria

El promedio nacional de producción de agua por habitante servido se estima en 380 l/hab/día, con un rango amplio de variación entre las distintas provincias, que oscila entre un máximo de 654 l/hab/día en la provincia de San Juan y un mínimo de 168 l/hab/día en la provincia de La Pampa. El consumo medio real sobre la base de los resultados de sistemas que operan con micro medición (Bahía Blanca en la provincia de Buenos Aires y la provincia de Jujuy) es del orden de los 180 l/hab/día (Instituto Nacional del Agua - INA, 2010). (ENOHSA, 2010)

Para la provincia del Chaco, la dotación media de producción resultante es de 225 l/hab/día, con una dotación pico de producción de 449 l/hab/día. El coeficiente de retorno a cloacas está calculado en un 80% (UCPYFE, 2010)

2.2.2. Determinación del caudal de agua a tratar en C. del Bermejo

2.2.2.1. Material de referencia y normas de diseño

Para los cálculos de los caudales de vuelco a colectoras, se toman las denominaciones, definiciones y coeficientes para diseño de acuerdo con poblaciones de ENOHSA, según capítulo 2 *Criterios de diseño*, cuadro 2.3.1. (Página N2.1/10 punto 2.1.7) y cuadro 2.3.2. (Página N2.1/10 punto 2.1.7). Los cuadros con el resumen de los coeficientes de diseño y su definición se recogen en las tablas 11 y 12.

Tabla 2 – ENOHSA - Caudales de diseño - Cap. 2 - Normas de estudio cuadro 2.3.1. Página N2.1/10 punto 2.1.7

Definición de caudales y coeficientes de diseño	
Denominación	Definición

Q_{An}	Caudal mínimo horario del año n	Menor caudal instantáneo del día de menor vuelco (Q_{Bn}) del año n. Caudal Horario mínimo absoluto de ese año
Q_{Bn}	Caudal mínimo diario del año n	Caudal medio del día de menor vuelco a cloacas del año n
Q_{Cn}	Caudal medio diario del año n	Promedio anual de los caudales diario volcados a cloaca durante el año n
Q_{Dn}	Caudal máximo diario del año n	Caudal medio del día de mayor vuelco a cloacas del año n
Q_{En}	Caudal máximo horario del año n	Mayor caudal instantáneo del día de mayor vuelco (Q_{Dn}) del año n. Caudal horario máximo absoluto del año.
a_{1h}	Coeficiente máximo diario del año n	$a_{1h} = Q_{Dn}/Q_{Cn}$ $a_{2h} = Q_{En}/Q_{Dn}$ $a_h = Q_{En}/Q_{Cn}$ $b_{1h} = Q_{Bn}/Q_{Cn}$ $b_{2h} = Q_{An}/Q_{Bn}$ $b_h = Q_{An}/Q_{Cn}$
a_{2h}	Coeficiente máximo horario del año n	
a_h	Coeficiente total máximo horario del año n	
b_{1h}	Coeficiente mínimo diario del año n	
b_{2h}	Coeficiente mínimo horario del año n	
b_h	Coeficiente total mínimo horario del año n	

Tabla 3 - ENOHSA - Coeficientes según población - Cap. 2 - Normas de estudio cuadro 2.3.2. Página N2.1/10 punto 2.1.7

Coeficientes para caudales volcados a colectoras						
Población servida	a1	a2	a	b1	b2	b
500 h < P < 3000 h	1.40	1.90	2.66	0.60	0.50	0.30
3000 h < P < 15000 h	1.40	1.70	2.58	0.70	0.50	0.35
15000 h < P < 30000 h	1.30	1.50	1.95	0.70	0.60	0.42

2.2.2.2. Determinación límites de la población a servir

Para el cálculo de la población a servir, ENOHSA establece que se tengan en cuenta los resultados de los últimos 3 censos, la distribución espacial actual, el plano actual de la planta urbana, la proyección demográfica para cada período del proyecto y para el fin del proyecto, la consistencia de los datos proyectados y la planta urbana futura.

2.2.2.2.1. Población de la localidad y proyección

La norma pide considerar los últimos 3 censos y su variación intercensal ($D_{anual \times 10}$) para la proyección. Es necesario indicar -con relación a la anterior consideración y las demás eventuales referencias sobre población- que el censo del año 2010 modificó radicalmente el sistema de información de datos censales, por lo que las proyecciones con

mediciones inter-censales directas no son posibles, como se mencionó en el punto 1.2.1. (INDEC, 2011)

Por la particular distribución urbana de las viviendas en cuadros idénticos, el Municipio de Concepción del Bermejo suele utilizar como referencia para determinar el número de habitantes por barrio, la estimación de 200 personas por manzana. La ciudad cuenta con 40 manzanas edificadas para vivienda, que arroja un total de 8000 habitantes (P_T = Población total). No se cuenta con otro tipo de datos o seguimientos poblacionales con herramientas censales. (Solidagro, 2015)

2.2.2.2.2. Distribución espacial de la población en la planta urbana

Por las características geológicas de la zona (oeste de Chaco, ver **¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**) no se construye en altura, lo que constituye una limitante del crecimiento poblacional del sector por unidad de superficie.

Definimos para este trabajo la *planta urbana* del proyecto como la zona en la que se desarrollaría el proyecto piloto. Allí, el 50% de sus construcciones son las más recientes de la localidad, conformando barrios de edificación nueva -por adjudicación de planes de vivienda- con unidades a pagar por créditos a 20 años. Aplicando el criterio de cálculo descrito en el punto anterior, la población de la *planta urbana* a servir es de 1.600 hab (P_0)

En las imágenes aéreas de la figura 29 se advierte que las cuatro manzana ubicadas al N en el área señalada, no tienen arboleda ya que han sido construidas en los últimos años. Las otras cuatro manzanas tienen construcciones más antiguas, pero no son lotes disponibles para ser adjudicados a planes de vivienda.

Habiendo otros terrenos hacia los cuales se puede crecer la ciudad con construcciones para una eventual población en crecimiento, se puede asumir razonablemente que la *planta urbana* de la zona de referencia mantendrá la distribución espacial de la población en las siguientes décadas.



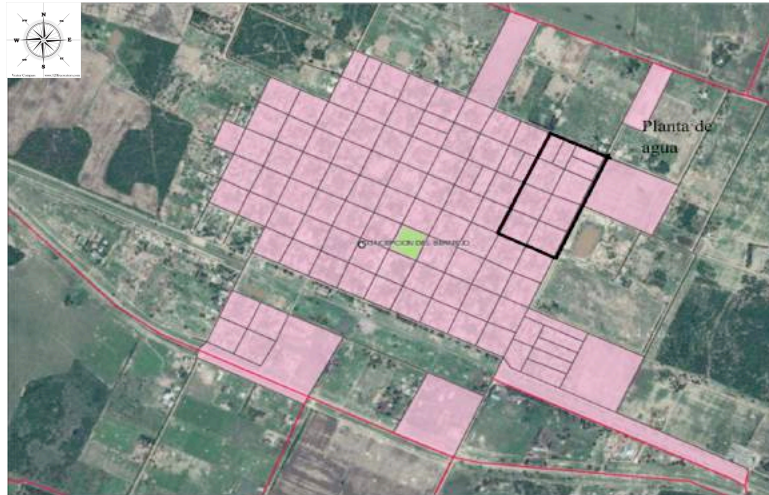
2.2.2.2.3.

2 Toma aérea de la ciudad con detalle de las manzanas consideradas para los cálculos de volúmenes del trabajo

2.2.2.2.5. Plano de la planta urbana actual

En la *planta urbana* actual no existen zonas que puedan caracterizarse como de “alta densidad demográfica”, estando la población distribuida de modo relativamente uniforme. La población de la zona demarcada en la figura 30 (P_0 = Población inicial y P_A = Población actual) es la que participará del proyecto piloto. Las casas se encuentran a corta distancia entre sí y la zona elegida es la ubicada más cerca de la planta de potabilización, como se ve en la figura de referencia.

La zona no presenta restaurantes, instituciones o comercios de importancia que pudieran aportar variaciones considerables a los constituyentes del efluente.



Plano de la ciudad de Bermejo con marcación del sector de la prueba piloto y la ubicación de la planta de agua - Elaboración propia

2.2.2.2.6. Proyección demográfica para período de obras.

Para la determinación hipotética del universo para el período de ejecución del proyecto (P_A) se considerará que la población no se modificará sustantivamente, por lo que podemos asumir razonablemente que el número de 8 manzanas consideradas arrojaría un total de 1600 habitantes para el final de obra (año de habilitación, $n=0$), con una distribución semejante a la inicial.

2.2.2.2.7. Población proyectada final

Por las consideraciones recogidas, al final del período de diseño ($n=20$), la población (P_{20} = Población final, prevista para el último año del período del diseño planificado), los datos poblacionales no debieran haber sufrido una modificación sustancial.

Por otro lado, al tratarse de una prueba puntual en un segmento determinado de la población de Concepción del Bermejo –y no el diseño del servicio urbano de saneamiento para toda la ciudad-, se considera que puede trabajarse con un volumen determinado de modo constante.

Para el cálculo preliminar de la población calculamos que:

$$P_{20} = P_{0n=0} (P_A \times D_{\text{anual}} \times T_1) + D_{\text{anual}} \times T_{20} \times P_A$$

Siendo T_1 el tiempo transcurrido hasta el inicio de las obras y T_{20} los 20 años de proyección considerados en los parámetros de diseño de ENOHSA.

Siendo $D_{\text{anual}}=0$, en conclusión, y para el diseño de esta planta de tratamiento, se asumiría que $P_A = P_0 = P_{20}$

2.2.2.3. Cálculo de caudales del efluente a tratar

2.2.2.3.1. Cálculo de caudales del efluente a tratar

Q_C , caudal medio diario del año: la circunscripción estaría produciendo diariamente una provisión media de agua potable igual a

$1.600 \text{ hab} \times 225 \text{ l/hab/día} = 360.000 \text{ l/día} = 360 \text{ m}^3/\text{d}$ de agua potable (ver 2.2.1) Las aguas residuales diarias medias anuales producidas son $288 \text{ m}^3/\text{d}$ ($360 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,8$ de retorno a cloacas - ver 2.2.1). Esto arroja un promedio horario de $12 \text{ m}^3/\text{h}$ ($288 \text{ m}^3/\text{d} / 24 \text{ h}$).

Q_D , caudal horario medio del día de máximo volumen diario: las aguas residuales medias del día de máximo volumen producidas son $406 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_{Dn} \times a_1 = 288 \text{ m}^3/\text{d} \times 1,40$). El promedio horario es de $14 \text{ m}^3/\text{h}$ ($406 \text{ m}^3/\text{d} / 24\text{h}$).

Q_{En} , caudal horario pico del día de máximo volumen diario: las aguas residuales pico del día de máximo volumen producidas son $32 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q_c \times a = 12 \text{ m}^3/\text{h} \times 2,66$).

Q_B , caudal medio del día de mínimo volumen diario: las aguas residuales medias del día de mínimo volumen producidas son $173 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_c \times b_1 = 288 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,6$). El promedio horario es de $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ($173 \text{ m}^3/\text{d} / 24$).

Q_A , caudal mínimo del día de mínimo volumen diario: las aguas residuales mínimas del día de mínimo volumen producidas son $86,5 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_B \times b_2 = 174 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.50$). El promedio horario es $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($86,5 \text{ m}^3/\text{d} / 24$).

En la tabla siguiente, se hace una síntesis de los caudales que se tienen en cuenta para el diseño.

Tabla Síntesis de caudales para diseño – Elaboración propia

	Día medio	Día máximo	Día mínimo
Q medios	288 m ³ /d	406 m ³ /d	173 m ³ /d
Promedio /hora	12 m ³ /h	14 m ³ /h	7,2 m ³ /h
Pico Máx hora	-	32 m ³ /h	-
Pico Mín hora	-	-	3,6 m ³ /h

2.2.2.3.2. Cálculo de caudales del efluente a colector

Para la nueva red de colección de aguas residuales, se diseñarán con Q_E y se verificarán con $Q_L = a_2 \times Q_B$ para el arrastre de sólidos. (ENOHSA, 2010) El efectivo diseño de sistema de colección y bombeo del agua residual doméstica queda fuera del alcance del presente trabajo de tesis.

2.2.2.3.3. Parámetros de diseño de la red de desagües

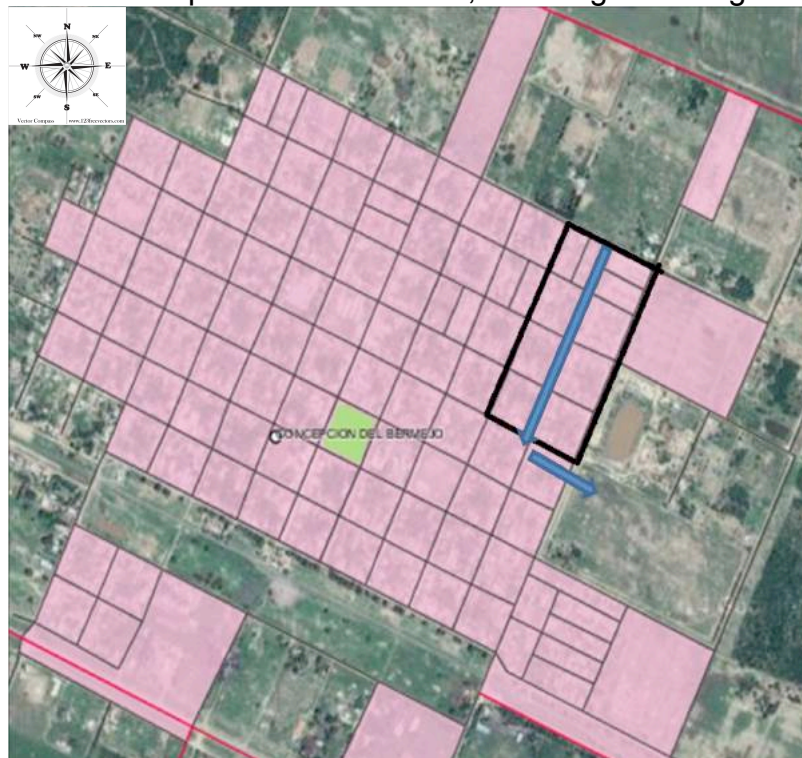
El diseño de ingeniería de la red de colección de aguas residuales no es objeto del presente estudio;

Para el cálculo de caudales se trabajará con Q_E y se deberán hacer los estudios de perfil estratigráfico, posición del nivel freático, agresividad potencial del suelo y el agua, sistemas de abatimiento, métodos de excavación, estabilidad de las paredes de las zanjas y las precauciones a adoptar durante el relleno de las mismas, previstos en las normas ENOHSA N° 11.

Por ser la primera experiencia de recolección de líquidos cloacales en la localidad, se deberán tomar las medidas necesarias para facilitar al máximo el entendimiento, la aceptación y la realización efectiva de las conexiones domiciliarias a la red.

Para su simplificación –siempre supeditado a los estudios de ingeniería hidráulica exigidos previamente en el proyecto- se sugiere el tendido de la red en su traza más directa, por la vereda del área determinada, siguiendo la pendiente general del terreno en dirección general NO-SE para evitar la instalación de sistemas de bombeo. Para todo su diseño se seguirá la Norma ENOHSA N° 8/4 Y SS.

La localización del tendido de red y la dirección sugerida de la traza de acuerdo con pendiente estimada, se recoge en la figura siguiente.



Dirección y tendido sugerido de la red de colección

2.2.2.3.4. Ubicación de la planta de tratamiento del cloacal

De acuerdo con las normas ENOHSA (Capítulo 2 *Criterios de diseño – Estudios preliminares para el diseño de las obras*), el tratamiento deberá localizarse entre los 500 y 1000 metros mínimos desde la zona de vivienda. (ENOHSA, 2010)

Si se considera la dirección de los vientos predominantes, la localización más adecuada a la planta de tratamiento sería el NE, en la dirección general de ubicación de la planta potabilizadora con relación a la población.

2.2.3. Determinación del perfil de agua residual

Perfil de la dotación domiciliaria de efluentes para Concepción del Bermejo – Elaboración propia

Parámetro	Unidad	CdelB	Ref
Acalinidad total	mg/l (CO ₃ Ca)	158,4	1

Conductividad	mS/cm	4197,6	2
DO	mg/l	211,2	1

DBO ₅	mg/l	290,4	3
ST	mg/l	950,4	1
STD	mg/l	838,2	1
STDF	mg/l	396	1
STDV	mg/l	264	1
SST	mg/l	290,4	1
SSTF	mg/l	72,6	1
SSTV	mg/l	217,8	1
SS	mg/l	13,2	1
DQO	mg/l	660	1
N total	mg/l	52,8	1
N orgánico	mg/l	19,8	1
N libre	mg/l	33	1
NO ₂ ⁻	mg/l	0	1
NO ₃ ⁻	mg/l	11,88	1
P total	mg/l	10,56	1
P orgánico	mg/l	3,96	1
P inorgánico	mg/l	6,6	1
K	mg/l	57,684	2

Cloruros	mg/l	66	1
Grasas	mg/l	132	1
Colis totales	UFC/100 ml	1,E+08	1
Colis fecales	UFC/100 ml	1320	2
E. Coli	UFC/100 ml	5,E+07	3
Huevos Helmintos	nº/l	1,32	2
Cd	mg/l	0,0132	2
Cu	mg/l	0,264	2
Pb	mg/l	6,6	2
Zn	mg/l	2,64	2
Fe	mg/l	6,6	2
Cr	mg/l	0,132	2
SO ₂	mg/l	59,4	3
Ca	mg/l	21,12	3
HCO ₃ ⁻	mg/l	31,68	3
RAS	mg/l	1320	2
Co	mg/l	0,066	2
Bo	mg/l	21,12	3
Mn	mg/l	0,264	2
+Mg	mg/l	2,64	3

Para la tabla anterior, las referencias de interpretación son:

Q medio de retorno a cloacas para CdelB		
Q / hab / día	225	litros
Retorno cloacas	80%	
CdelB Q cloacal / hab / día	180	litros

Fuente de referencia	
Perfil Metcalf & Eddy	1
Perfil OMS / FAO	2
Perfil EPA	3

2.2.4. Determinación de carga diaria a tratar

El volumen se determinó sobre una población de 1.600 hab. El caudal de los cálculos es QC.

Con el perfil señalado se construyó la siguiente tabla.

Carga de contaminantes a tratar de dotación domiciliar en la circunscripción elegida de Concepción del Bermejo

Parámetro	Unidad	Carga en Kg/d o m ³	Ref
Alcalinidad total	mg/l (CO ₃ Ca)		1
Conductividad	mS/cm		2
DO	Kg/d	61	1
DBO ₅	Kg/d	84	3
ST	Kg/d	274	1
STD	Kg/d	241	1

STDF	Kg/d	114	1
STDV	Kg/d	76	1
SST	Kg/d	84	1
SSTF	Kg/d	21	1
SSTV	Kg/d	63	1
SS	Kg/d	4	1
DQO	Kg/d	190	1
N total	Kg/d	15	1
N orgánico	Kg/d	6	1

N libre	Kg/d	10	1
NO ₂ ⁻	Kg/d	0	1
NO ₃ ⁻	Kg/d	3	1
P total	Kg/d	3	1
P orgánico	Kg/d	1	1
P inorgánico	Kg/d	2	1
K	Kg/d	17	2
Cloruros	Kg/d	19	1
Colis totales	UFC/m ³	1,18E+12	1
Colis fecales	UFC/m ³	3,80E+09	2
E. Coli	UFC/m ³	7,98E+10	3
Huevos	nº/m3	3,80E+0	2

Helmintos		5	
Cd	Kg/d	0	2
Cu	Kg/d	0	2
Pb	Kg/d	2	2
Zn	Kg/d	1	2
Fe	Kg/d	2	2
Cr	Kg/d	0	2
SO ₂	Kg/d	17	3
Ca	Kg/d	6	3
HCO ₃ ⁻	Kg/d	9	3
RAS	Kg/d	380	2
Co	Kg/d	0	2
Bo	Kg/d	6	3
Mn	Kg/d	0	2
Mg	Kg/d	1	3

Para la tabla anterior, C=Carga a tratar; B=Concentración de contaminante por m³; E= Q aguas residuales medias/día

Fuente de referencia	
Perfil Metcalf & Eddy	1
Perfil OMS / FAO	2
Perfil EPA	3

2.3. Determinación de los usos posibles del agua residual tratada

Se tuvo en cuenta al momento de proyectar el perfil de agua para reuso por tratamiento, los destinos posibles del agua residual tratada, de acuerdo con una combinación ponderada por la exigencia mayor, entre la clasificación de la Organización Panamericana de la Salud y de la EPA (USEPA, 2012).

2.3.1. Uso para irrigación de caminos, parques y paseos

2.3.1.1. Sin acceso humano restringido:

Se considera en este apartado el riego artificial de todo tipo de zonas verdes, canchas de deportes en general, parques de juegos, lavado de automóviles, combate de incendios, y otros usos con similar acceso o exposición al agua.

2.3.1.2. Con acceso humano restringido

Riego de caminos para combate de polvo, cultivo de césped, cementerios, zoológicos y reservas animales y otras áreas donde el acceso del público está prohibido, restringido o es poco frecuente

2.3.2. Uso agropecuario

2.3.2.1. Bebida de ganado

2.3.2.2. Alimentos que no se procesan

Riego superficial o por aspersión, de cualquier cultivo comestible, incluyendo aquellos que se consumen crudos.

2.3.2.3. Alimenticios que se procesan industrialmente

Aquellos que, previo a su uso, han recibido el procesamiento físico o químico que tiene efecto adicional para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.

No se toman los alimentos que de modo habitual se compran crudos y se procesan en el domicilio, por considerarse que puede existir manipulación, contacto incidental, consumo eventual sin cocción, etc.

2.3.2.4. Cultivos para alimento de ganado

Riego de pastos para ganado lechero, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.

2.3.2.5. Cultivos no alimenticios

Silvicultura, forestación, cultivo de plantas para uso textil, producción de biomasa, o para producción de papel o de todo otro producto no comestible.

2.3.3. Uso medioambiental

2.3.3.1. Recarga acuíferos

2.3.3.2. Recarga cuerpos superficiales de agua

2.3.4. Paisajístico y recreativo

2.3.4.1. Con contacto incidental

Uso para pesca, canotaje, actividades deportivas, etc. que presenta contacto primario con aguas recuperadas.

2.3.4.2. Sin contacto directo

Donde está prohibido acceso humano, como aprovechamientos estéticos en los que el contacto con el público no está permitido, y dicha prohibición esté claramente rotulada y monitoreada.

2.3.5. Uso industrial

2.3.5.1. Construcción

Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto, etc.

2.3.5.2. Otros usos industriales.

Las preferencias iniciales manifestadas por las autoridades municipales y líderes sociales del lugar, (Solidagro, 2015) se inclinaban – de modo genérico- a los siguientes usos posibles: irrigación, recreación y uso agropecuario.

De los destinos enunciados, se descarta en primer término la recarga directa al acuífero por dos razones: por no contarse con la tecnología adecuada y por implicar un reuso como agua potable indirecta, que sería desaconsejable en un lugar donde los cuerpos de agua receptores tienen periódicamente muy escasa capacidad de dilución, re aireación, etc. y donde aún no se cuenta con medios analíticos frecuentes para controlar microorganismos patógenos y para controlar a nivel de trazas la presencia de arsénico.

También se descartó el uso en plantas industriales, por no existir ningún tipo de industria en Concepción del Bermejo hasta la fecha del presente trabajo y considerarse improbable el establecimiento de alguna en el futuro próximo. Sí se contempla la posibilidad de utilización en construcción.

También se descartan los usos que impliquen un contacto eventual o incidental, principalmente por dos razones: la lejanía de centros que pueden aplicar mecanismos de monitoreo de agua en la provincia y la falta de experiencia técnica a nivel municipal en una población del tipo de Concepción del Bermejo. Por tanto, se dejan de lado los dos usos que exigen una calidad equiparable a la del agua de bebida. (Solidagro, 2016)

El resumen de los usos que serán considerados para el presente trabajo está contenido en la siguiente tabla. A partir de este punto, los destinos son mencionados de acuerdo con la codificación de la tabla de referencia.

Usos posibles para reutilización de efluentes tratados

Reuso posible	Riesgo de contacto humano	Situación
1. Irrigación de caminos parques y paseos	1.a. Sin acceso humano restringido	A evaluar
	1.b. Con acceso humano restringido	Posible
2. Agropecuario	2.a. Bebida de ganado	Posible
	2.b. Alimentos que no se procesan	Descartado
	2.c. Alimentos que se procesan industrialmente	Posible

	2.d. Cultivos para alimento de ganado	Posible
	2.e. Cultivos no alimenticios	Posible
3. Medioambiental	3.a. Recarga acuíferos	Descartado
	3.b. Recarga cuerpos superficiales de agua	Descartado
4. Paisajístico y recreativo	4.a. Con contacto incidental	Descartado
	4.b. Sin contacto directo	Posible
5. Industrial	5.a. Construcción	Posible
	5.b. Otros usos industriales	Improbable

No se descarta inicialmente la posibilidad de aplicar riego por goteo (no está incluido en la clasificación que se presenta), aunque probablemente haya que tener en cuenta la necesidad de algún tipo de filtrado previo para prevenir taponamiento de mangueras en el sistema de distribución. También podría aplicarse al riego subterráneo. En ambos casos, las condiciones técnicas de los equipos, la profundidad del riego, el tipo de cultivo, la forma en que se cosecha, etc. serán las determinantes para decidir –en un estudio de pre factibilidad- si existe posible contacto humano directo.

2.4. Determinación de los parámetros de calidad del agua residual tratada

Para la determinación de los parámetros de calidad del agua residual tratada, según cada tipo de uso posible, se utilizaron las normas de ENOHSA, las guías FAO, y las recomendaciones de la EPA.

2.5. Tecnología del tratamiento

En el caso de los humedales artificiales, tratamiento no convencional, se hace necesaria la descripción de sus principios y clasificación, hidrología e hidráulica, elección de vegetación y características de comportamiento, remoción de contaminantes, manejo, operación y mantenimiento.

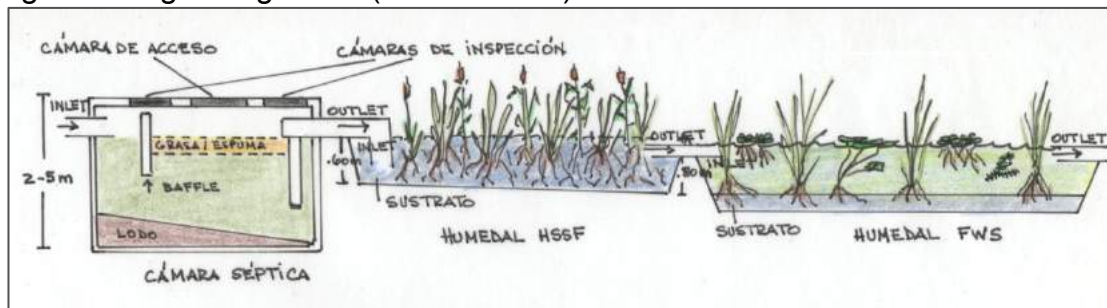
2.5.1. Tecnología de humedales

Las instalaciones convencionales o compactas se descartaron del presente trabajo, por los siguientes motivos:

- Los equipos compactos o reactores tienen proceso químico conocido, probado y evaluado, no es necesario su análisis específico: la decisión se vincula con el costo, la operación y el mantenimiento.
- Los equipos tienen un consumo energético alto y constante, lo que es una debilidad en una localidad que presenta históricamente fluctuaciones semanales en el servicio de suministro eléctrico.
- El equipo compacto necesita un cuadro técnico preparado adecuadamente tanto en la operatoria diaria, como en la supervisión, mantenimiento y eventuales reparaciones.
- El costo de la compra y puesta en marcha del equipo compacto no puede ser absorbido económicamente por un Municipio de las características de Concepción del Bermejo.

2.5.1.1. Sistema de tratamiento por humedales

El sistema estará compuesto por una cámara séptica, seguido por una serie de dos humedales de diferente diseño. El diagrama del sistema se recoge en la figura siguiente (no en escala).



Sistema tratamiento: Séptica, humedal HSSF, humedal FWS – Elaboración propia

2.5.2. Diseño del colector cloacal y pre tratamiento

Para los cálculos, parámetros de diseño y obra de ingeniería del colector cloacal y los sistemas de conexiones domiciliarias se tendrán en cuenta las *Normas de Estudio y Criterios de Diseño para Desagües Cloacales* del ENOHSA.

Para el pre tratamiento, rejillas, canaleta Parshall y tamices, se seguirá *Parámetros básicos de diseño definitivo* del Capítulo 11.2.8 y 11.2.9. ENOHSA.

2.5.3. Cámara séptica

Para los cálculos, parámetros de diseño y obra de ingeniería del colector cloacal y los sistemas de conexiones domiciliarias se adaptarán las Normas de Estudio y de Diseño para tanques Imhoff del ENOHSA,

2.5.4. Humedal artificial: definición y clasificación

Entre la diversa información disponible, hay aún cierta disparidad en los conceptos manejados y en el conocimiento científico documentado de los complejos procesos fisicoquímicos y biológicos que se desarrollan en un humedal de tratamiento de efluentes.

Se consideran humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (UN - Ramsar, 1994).

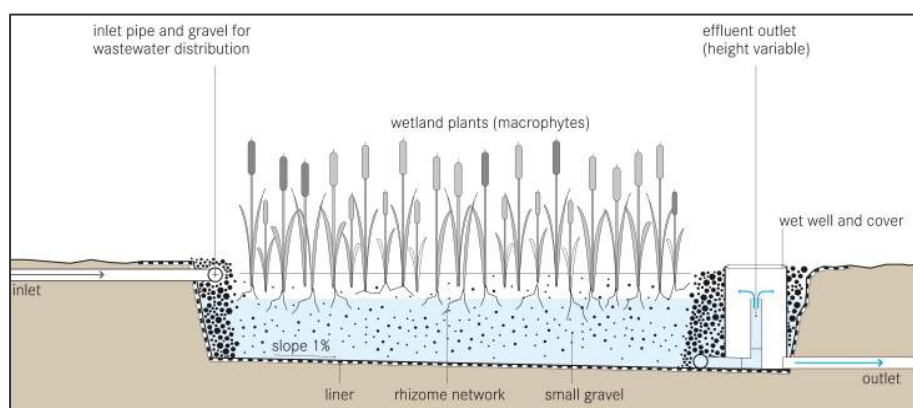
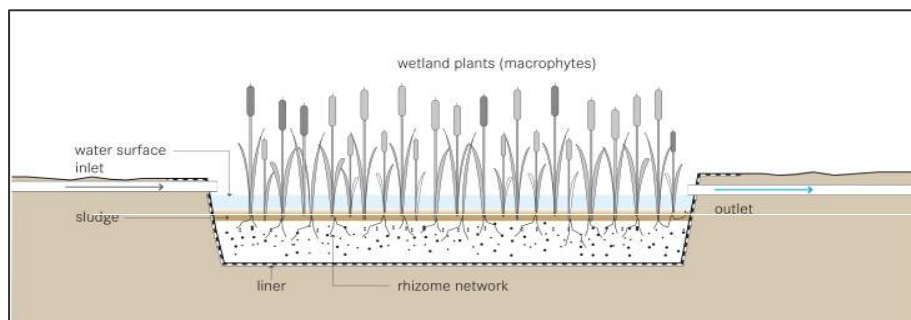
Normalmente los sistemas de humedales artificiales son usados para tratar los efluentes que provienen de tratamiento primario o secundario a través de plantas hidrófitas, implantadas en un medio permeable (usualmente grava), que permita el flujo del efluente en toda su área y a través de las raíces y rizomas.

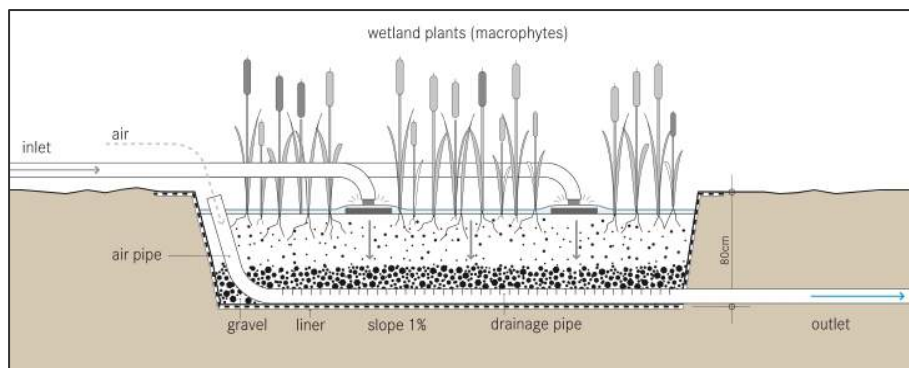
De acuerdo con el manual de la EPA de diseño de humedales (EPA, 1988) existen dos tipos de humedales artificiales:

- Si la superficie del agua a tratar está a la misma altura o por encima del nivel del medio el sistema se llama FWS, *Free-Water Surface*. Es un humedal de flujo horizontal a través de la cama donde se insertan los rizomas de la vegetación que es parte del tratamiento.
- Si la superficie del agua a tratar está debajo del nivel del medio, el sistema se llama *Subsurface Flow System* SFS. En este caso llamado humedal de flujo vertical, el efluente es dosificado uniformemente sobre el medio y gradualmente drena de modo vertical a una red de drenaje que se encuentra en la base del lecho.

Sin embargo, existe actualmente una clasificación de humedales ligeramente diferente, distinguiendo entre tres tipos posibles (Robert H. Kadlec, 2009):

- El llamado Free Water FWS con áreas abiertas, similar en apariencia a pantanos naturales. Un corte trasversal se incluye en la figura 1.
- El *Horizontal Subsurface Flow* (HSSF) que tiene las mismas características descritas por la EPA para el FWS, según figura 2.
- El *Vertical Flow* (VF), con características similares a los SFS de la clasificación EPA. Un corte trasversal se incluye en la figura 3.





Para el presente estudio, se tomará en consideración la segunda denominación, por incluir una variante más. Sin embargo, se debe aclarar que frecuentemente en la literatura, los esquemas se presentan de modo indistinto.

2.5.4.1. Humedales: elección de las plantas y características

Las plantas que se utilizan para los humedales artificiales son las que están morfológicamente adaptadas para crecer en suelos saturados con ausencia de oxígeno disponible, gracias a grandes espacios internos para transporte de oxígeno a raíces y rizomas. Su sistema interno lacunal puede ocupar hasta el 60% del volumen total del tejido. El movimiento interno del oxígeno hacia el suelo sirve, no solo para atender a las demandas respiratorias de los tejidos enterrados en el sustrato, sino también proveer la rizosfera con oxígeno. Este oxígeno crea condiciones de oxidación en el sustrato -que es casi anóxico en el caso de los HSSF- y estimula tanto la descomposición aeróbica de la materia orgánica, como el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Las raíces trabajan el sustrato manteniendo constante su conductividad hidráulica y previniendo el *clogging* a través de la creación de canales dentro de sus tejidos muertos.

Hay experiencias más recientes (William, 2004), que proponen introducir turba en la grava para mejorar el intercambio iónico y la denitrificación, con un porcentaje de 25% (mulch o turba) y 75% de grava.

Las plantas macrófitas son las que proveen la mayor parte de la estructura de un sistema de humedales. Si bien algunos humedales experimentales (en estudio en Cataluña) se han construido con una sola especie vegetal (*Phragmites australis*) y el manual de la EPA toma como parámetros de diseño del lecho la profundidad de sus raíces, puede plantearse la consideración de incorporar otras especies por los siguientes motivos:

- Impulsar la diversidad biológica con la consecuente creación de las condiciones de desarrollo de un ecosistema.
- Prevenir las consecuencias que se derivan de la construcción de una comunidad alrededor de una sola especie vegetal (plaga o enfermedad que puede eventualmente afectar a la especie y a todo el sistema).
- Facilitar el tratamiento biológico del influente, que tendrá más posibilidades de contacto con las raíces y rizomas a diferentes profundidades.

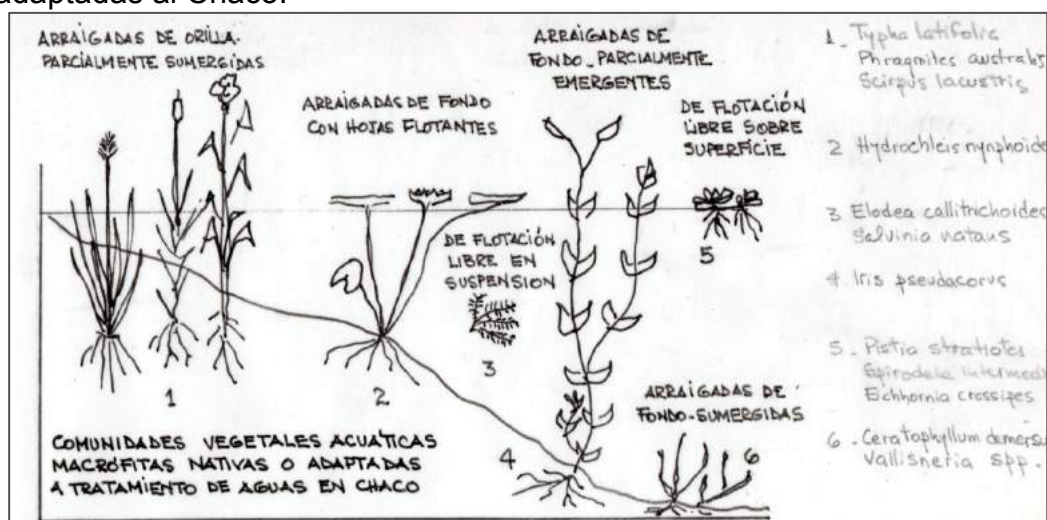
- Cubrir un ciclo más amplio estacional, ya que suele haber variación entre plantas de acuerdo con su desarrollo anual.
- Brindar a Concepción del Bermejo un punto de recreación visual.
- Ofrecer la posibilidad de que la localidad pueda beneficiarse de los servicios eco-sistémicos del humedal.

La *Phragmites australis* (la más utilizada para humedales de tipo HSSF) es una especie autóctona argentina, nativa en el NEA, así como las totoras, cañas y camalotes en zonas costeras de tajamares, bañados, ríos y lagunas. Otras plantas argentinas para tratamiento de agua en humedales son la *Spirodela intermedia* (para los humedales FWS), la *Typha Latifolia* (Totora) y la *Pistia stratiotes* (Repollito de agua), también para humedales del tipo FWS. Una síntesis de sus características, en la imagen 38.

En el sistema B se proponen dos de los tres tipos de humedales que se tienen en cuenta: los humedales HSSF y FWS. El tercer tipo de humedal –VF– no se tuvo en cuenta por llevar un sistema ingenieril de mayor complejidad y costo. De acuerdo con el diseño definitivo, se deberán elegir las especies adecuadas teniendo en cuenta:

- Que sean especies autóctonas o adaptadas al Chaco
- Que sean especies complementarias y que de fácil mantenimiento (considerando que anualmente deberá hacerse una purga y/o replantación).
- Que sean diferentes entre los dos humedales, dejando para el de tipo FWS, las especies flotantes y sumergidas emergentes.

En la figura siguiente, se presenta una clasificación de plantas macrófitas a utilizar, con una selección de las especies autóctonas o adaptadas al Chaco.



Plantas macrófitas autóctonas del Chaco argentino o adaptadas, por modo de implantación en el sustrato, que pueden utilizarse para los tratamientos de aguas - Elaboración propia

2.5.4.2. Humedales: remoción de contaminantes

Como afirmación general se puede decir que, en un humedal manejado correctamente, la concentración del efluente debiera ser < a 30

mg/l en DBO₅, TSS < 25 mg/l, Coliformes fecales < 10.000 UFC/100ml (David James, Christopherson & Axler, 2002)

Mecanismos de remoción: los mecanismos de floculación, sedimentación, adsorción y reacción anaeróbica se dan en zonas de rizomas y raíces de la vegetación, comúnmente en los humedales HSSF. En la zona en que el agua es superficial, como en el caso de humedales FWS, existen reacciones aeróbicas, radiación solar, sedimentación de TSS.

Remoción de SST: Las partículas sólidas, al pasar a través el lecho de un humedal, se pueden involucrar en procesos de sedimentación, intercepción, resuspensión, precipitación química, además de la aumentación eventual por parte de sedimentos biológicos propios de la biota del humedal, de la escorrentía o partículas arrastradas por el viento.

La utilización de porcentajes estimados de remoción es particularmente inapropiada en el caso de los sólidos, ya que no se trata de una comparación directa entre inlets y outlets, debido a los múltiples procesos que agregan sólidos durante el flujo del efluente a través del lecho.

Aunque los humedales HSSF y FWS están diseñados de modo diverso, se aplican los mismos procesos físicos, con diferentes grados y magnitudes. Tanto el FWS como el HSSF son muy efectivos al atrapar y retener SST asociados con los flujos del inlet. Pero, a diferencia de los FWS, en los humedales HSSF la acumulación de material puede reducir la conductividad hidráulica y llevar a un clogging del lecho con crecimiento inadecuado del nivel del agua.

En otro sentido, la resuspensión que puede darse en los FWS se minimiza enormemente en los humedales HSSF, debido a la menor velocidad del flujo.

Las precipitaciones químicas se dan de modo similar en ambos tipos, así como la incorporación de material biológico.

De modo general, se puede asumir -de acuerdo con bibliografía-, una concentración de salida de SST de 22,5 mg/l para un amplio rango de cargas del inlet.

Remoción de DBO₅: Los humedales son efectivos en la reducción de la DBO₅. Tanto los procesos aeróbicos como los anaeróbicos consumen compuestos carbonáceos en los ambientes de humedales. Sin embargo, la descomposición de tejidos y sedimentos biológicos producen a su vez compuestos carbonáceos solubles; en consecuencia, el cálculo de la DBO₅ en el outlet tiene que incluir tanto el consumo como la generación de esas sustancias.

Adicionalmente, en los humedales HSSF la remoción de DBO₅ se produce por la acción combinada de mecanismos aeróbicos y anaeróbicos y es susceptible a la variación estacional.

Los datos empíricos de los humedales FWS arrojan como resultado concentraciones por debajo de los 15 mg/l de DBO₅ en el outlet. De modo general, y debido a la dificultad de medir la remoción de la DBO, por diferencia de inlet-outlet en los humedales HSSF y, por tanto, hacer un

estimado de ambos sistemas combinados, se tomará como dato aproximado una DBO₅ en torno a los 30-50 mg/l.

Remoción de N: el nitrógeno orgánico está presente abundantemente en las aguas residuales de origen municipal. Estas entran a los humedales con un tratamiento previo, pero el sistema que las recibe es - de por sí- rico en material orgánico y posee producción interna de compuestos nitrogenados.

El rango de reducción de contenido de N para humedales de tipo FWS se ubica alrededor del 50%.

La reducción de N para humedales de tipo HSSF es aproximadamente del 30%.

Ambas referencias debieran estudiarse más profundamente y ajustando parámetros de temperatura, procesos químicos y biológicos ocurridos, tiempo de retención, etc., si se tuviera como objetivo lograr una calidad diferente a la prevista.

Remoción de P. Las aguas residuales del caso tienen de 5 a 6,6 mg/l de P, de lo cual 1 a 1,32 mg/l es orgánico. Los humedales almacenan la mayor parte del P en suelo y sedimentos. La remoción se da por procesos físicos (sedimentación y entrapamiento en los tallos y por adhesión al biofilm a las plantas), químicos (por absorción y desorción, que incluyen P inorgánico soluble que se mueve desde los poros del lecho hasta la superficie) y biológicos (incluye el secuestro de fosfatos por microorganismos, incluyendo bacterias, hongos y algas). P retorna al agua vía descomposición de tejido vegetal y arrastre; una fracción queda fija en el sustrato.

De todos modos, los procesos vinculados al P en los humedales son numerosísimos y tienen tiempos de respuesta y de manifestación prolongados. En líneas generales, los humedales de tipo FWS tienen nula remoción de P o, incluso, reducción negativa.

En los humedales de tipo HSSF el comportamiento del P es función de tres variables: área, carga hidráulica y concentración en el inlet.

En líneas generales, se podría asumir que el la concentración de P del inlet a los humedales, será el mismo del outlet.

Remoción de metales: El Li, Be, Mo, y el Mg de las aguas residuales del caso están dentro de los parámetros antes de su ingreso al sistema. Generalmente, hay poca modificación en la concentración de K. Su rango típico en los humedales de tipo HSSF está entre los 1.0 y 40 mg/l.

El Fe interactúa en un humedal de tres modos principales: uniéndose a suelos, sedimentos, partículas y orgánicos solubles. En segundo lugar, precipitando como sales insolubles. En tercer lugar, tomado por las plantas. De modo genérico, puede estimarse una remoción de alrededor del 64%.

El Mn tiene un comportamiento similar al del Fe. Los humedales FWS muestran una reducción del 54%. En los de tipo HSSF el Mn puede tener un comportamiento diferente, debido a las condiciones anóxicas y terminar formando sulfuros insolubles.

Remoción de metales pesados:

La remoción en estos casos está asociada al fenómeno de precipitación-adsorción. Con un tiempo de retención de 5,5 días, los datos empíricos de la EPA para humedales registran una remoción de Cu, Zn y Cd de 99%, 97% y 99% respectivamente. El Cr es transferido primariamente a los suelos y sedimentos por co-precipitación y, más raramente, por incorporación del mismo por parte de las plantas. Para rangos semejantes a los que presenta el caso estudiado, el porcentaje de Pb removido en los humedales de tipo FWS es del 62%, mientras que en los de tipo HSSF es del 25%.

El As en Concepción del Bermejo es un aspecto a tener en cuenta ya que, aunque en la concentración del efluente no se prevé su presencia, las aguas subterráneas de la zona son arsenicales y no se debiera descartar la posible contaminación cruzada de las aguas a tratar. La menor remoción esperada de As en humedales de tipo FWS es del 29% y la mayor se ubica en 99%. Esto debiera ser suficiente para cumplir con los requerimientos de seguridad en contacto humano eventual.

Otros metales pesados como Hg, Co, Ni no se tienen en cuenta, ya que no aparecen en la caracterización del perfil del efluente.

Remoción de patógenos:

A los humedales se les reconoce el ofrecer una adecuada combinación de factores físicos, químicos y biológicos para la remoción de los patógenos. Los físicos incluyen filtración, exposición a la radiación UV, sedimentación y adsorción a biofilm. Los químicos abarcan oxidación, exposición a biocidas excretados por algunas de las plantas de humedales y absorción/desorción por la materia orgánica. Los mecanismos biológicos de remoción incluyen antibiosis, predación por nematodos y protistas, así como natural die-off (Gersberg et al., 1989).

La remoción de patógenos documentada en humedales artificiales tiene un correlato directo con el tiempo de retención hidráulico. Existe evidencia empírica de un significativo die-off de organismos y especies patógenas en humedales, especialmente en los humedales de tipo FWS. La información disponible de más de 20 años de controles, indica que los humedales son -como mínimo- igual de efectivos que otras tecnologías de tratamiento en la reducción de poblaciones de virus y bacterias patógenos.

2.5.5. Determinación de la reducción de patógenos de cada etapa

Para la determinación de la reducción de patógenos esperable para cada uno de los dos sistemas propuestos, se tendrán en cuenta la bibliografía combinada de la OMS y la EPA por un lado y el compendio de datos del manual de Kadlec & Wallace, 2nd Edition, por el otro.

Una constante en toda la bibliografía es la indicación de que el éxito en la remoción de patógenos está vinculado siempre a la posibilidad de una sucesión de tratamientos encadenados. Por tanto, el éxito final corresponderá al sistema como tal. Sin embargo, y a los efectos

metodológicos, a continuación se presentan las estimaciones de remoción de patógenos para cada una de las etapa por separado.

No se mencionarán las remociones estimadas de virus, ya que los estudios indican que los humedales y las lagunas son generalmente ambientes hostiles a los virus.

2.5.5.1. Cámara séptica

Generalmente se puede esperar una remoción mínima del 50% de los sólidos, 35 a 45% de la DBO₅ y 1 log de reducción de patógenos – dependiendo del tiempo de retención-, tres procesos íntimamente vinculados (EPA), además de los porcentajes de remoción consignados De esta etapa, deberá salir con una carga superficial de 60-120 kg de DBO₅/ha para ser procesada –en la segunda etapa de cualquiera de los dos sistemas propuestos- por la laguna facultativa o por el humedal HSSF. Habría una reducción teórica del 35-60% de la DBO₅.

El pH debería mantenerse en un rango ligeramente alcalino para equilibrar la acidificación que se produce en la siguiente etapa.

Coliformes totales	1 log de reducción
Coliformes fecales	1 log de reducción
Escherichia coli	1 log de reducción
Parásitos (Helmintos)	1 log de reducción
Salmonella	1 log de reducción

2.5.5.2. Humedal HSSF

La remoción de patógenos documentada en HSSF es directamente proporcional a la concentración del inlet y al tiempo de retención, que tiene una media general de 4,5 días (EPA). La bibliografía documenta variaciones en la eficiencia de remoción de acuerdo con la carga anual de patógenos, profundidad del lecho, tipo de vegetación, sustrato y variaciones de temperaturas estacionales. (pp500-507). Se pueden esperar entre 1-3 log de remoción de patógenos. Las eficiencias de remoción medias esperadas son las siguientes:

Coliformes totales	2 log de reducción
Coliformes fecales	2,13 log de reducción
Escherichia coli	1,5 log de reducción
Parásitos (Helmintos)	2 log de reducción
Salmonella	1 log de reducción

2.5.5.3. Humedal FWS

La remoción de patógenos documentada en FWS es directamente proporcional a la concentración del inlet y al tiempo de retención, que

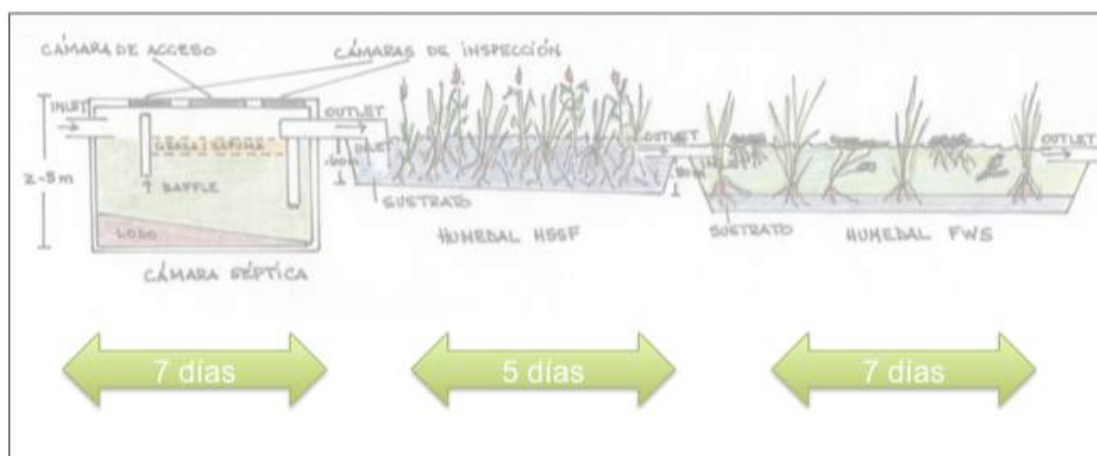
tiene una media general de 4,5 días. La radiación solar UV no puede calcularse de modo directo debido a la intercepción que se produce por las partículas suspendidas y la vegetación. La bibliografía documenta variaciones en la eficiencia de remoción de acuerdo con la carga anual de patógenos, profundidad del lecho, tipo de vegetación, sustrato y variaciones de temperaturas estacionales. Se pueden esperar entre 1-2 log de remoción de patógenos. Las eficiencias de remoción medias esperadas son las siguientes:

Coliformes totales	1,5 log de reducción
Coliformes fecales	1,46 log de reducción
Escherichia coli	1 log de reducción
Parásitos (Helmintos)	2 log de reducción
Salmonella	1 log de reducción

3. LOGROS POSIBLES POR LA APLICACIÓN DEL SISTEMA

3.1. Resultados tecnología sistema

3.1.1. Perfil del efluente a la salida de la tercer etapa del sistema



Los tiempos de retención en el sistema se han estimado de acuerdo con la bibliografía de base utilizada, sumado a un criterio de utilización mínima de terreno y máxima simplificación tecnológica. A partir de los datos obtenidos, y de acuerdo con diferentes experiencias, se pueden construir humedales en serie, de acuerdo a los objetivos específicos y al diseño de ingeniería sanitaria.

Por las características descriptas en con relación al oxígeno, es altamente probable que ambos humedales debieran estar interconectados por un salto hidráulico suficiente como para incorporar aire al flujo y repetirse el final del sistema antes de su utilización o vuelco en un reservorio.

Un perfil posible del efluente a la salida del sistema B –cámara séptica, humedal HSSF, humedal FWS- se presenta a continuación en la tabla. No se incluyen aquellos parámetros que estaban dentro de norma antes de entrar al inlet de la cámara séptica.

Parámetros de calidad del efluente tratado a la salida del sistema B

Parámetro	Unidad	Nivel	Grasas	mg/l	
Acalinidad total	mg/l (CO ₃ Ca)		Colis totales	UFC/100 ml	<2000
Conductividad	mS/cm		Colis fecales	UFC/100 ml	0,09
DO	mg/l	+	E. Coli	UFC/100 ml	150
DBO ₅	mg/l	30	HHelminthos	nº/l	9,7E-5
SST	mg/l	22,5	Cd	mg/l	trazas
DQO	mg/l	68	Cu	mg/l	trazas
N total	mg/l	18,5	Pb	mg/l	0,9
P total	mg/l	10,5	Zn	mg/l	trazas
K	mg/l	40			
Cloruros	mg/l				

Fe	mg/l	1,35	RAS		sin riesgo
Cr	mg/l	trazas	Co	mg/l	0
SO ₂	mg/l	<170++++	Bo	mg/l	
Ca	mg/l		Mn	mg/l	0,12
HCO ₃ ⁻	mg/l	<91,5++	Mg	mg/l	<2,64+++

+ el aireamiento por salto hidráulico deberá ser el suficiente para proveer un DO de entre 6 y 9,5 mg/l

++ valor menor del rango de referencia

+++ valor de ingreso al sistema

++++ valor de referencia

3.1.2. Reúsos posibles a la salida del sistema B

3.1.2.1. Irrigación con acceso humano restringido

De acuerdo con el perfil de efluente obtenido a la salida del sistema B, es posible la irrigación de cultivos con acceso humano restringido. En los parámetros, el P está ligeramente por encima del nivel guía, sin que esto presente problemas en el riego, en un sitio de bajas precipitaciones y, por tanto, de poca escorrentía superficial. El tipo de especies a desarrollar deberá determinarse de acuerdo con la calidad agronómica de los suelos.

Sin embargo, de acuerdo con los usos detallados, las posibilidades dentro de una población de las características de Concepción del Bermejo son limitadas, destacándose como posibles: obras de infraestructura y embellecimiento de la ciudad, cobertura del relleno sanitario, cementerio municipal y creación de bulevares.

3.1.2.2. Agropecuario: bebida de ganado

El destino para bebida de ganado es otra de las opciones posibles a partir de la calidad del efluente obtenido. Posteriores estudios deberían especificar si hay restricciones en el tipo de ganado. Como aproximación, se puede decir que no cumple con los parámetros de calidad para la instalación de tambos y sí para cría de animales adultos bovinos y caprinos, así como para la cría de animales pequeños y aves de corral.

3.1.2.3. Agropecuario: alimentos que se procesan industrialmente

Se aplican las mismas consideraciones que en el punto 3.1.2.1.. Debido a que los parámetros físico-químicos cumplen los estándares de calidad de irrigación sin restricciones, y que durante el procesamiento industrial de alimentos se destruyen los agentes patógenos que eventualmente hayan podido sobrevivir al tratamiento, existe la posibilidad de destinar el efluente tratado a un proyecto productivo de estas características.

Por el bajo nivel de sólidos, puede ser aplicado a riego por goteo, lo que –probablemente- sea una opción adecuada a Concepción del Bermejo, debido a las altas temperaturas de la estación estival.

3.1.2.4. Agropecuario: alimento para ganado

Se aplican las mismas consideraciones que en el punto 3.1.2.1. sin restricciones, si la cosecha del forraje –u otro cultivo- se hace de modo

mecánico. Si se hace de modo manual, se deberán seguir los estándares de seguridad establecidos en el sistema de barreras múltiples de la OMS.

3.1.2.5. Agropecuario: cultivos no alimenticios

Se aplican las mismas consideraciones que en el punto 3.1.2.1. sin restricciones, si se trata de especies forestales. Si se aplican a especies ornamentales o de contacto humano durante su cuidado y cosecha, se deberán seguir los estándares de seguridad establecidos en el sistema de barreras múltiples de la OMS.

Conviene recordar en este momento las características descriptas inicialmente con relación a la tradición de aprovechamiento forestal de la provincia del Chaco; una producción forestal de bosque sembrado es una alternativa viable, aunque a mediano-largo plazo.

3.1.2.6. Paisajístico y recreativo sin contacto directo

Por el nivel P en el efluente, posiblemente debería estudiarse con mayor profundidad la utilización directa del efluente para la creación de lagunas artificiales. Su vuelco eventual a un cuerpo de agua superficial (existe en la población un pequeño reservorio de agua de lluvia) no es posible de acuerdo con los requerimientos detallados previamente, debido al peligro de eutrofización del mismo.

Posteriores estudios podrán determinar con mayor exactitud los límites de reúso en este destino.

3.1.2.7. Industrial: construcción y otros usos posibles

Los usos en la construcción son prácticamente ilimitados, con las restricciones señaladas.

Para otros usos industriales, se deberán desarrollar los estudios previos pertinentes caso-específicos, a fin de determinar la idoneidad del recurso y/o la necesidad –o no– de instalar un tratamiento previo en la toma del agua.

En líneas generales, podría afirmarse que la disponibilidad de contar con un recurso hídrico de flujo constante para algún tipo de emprendimiento industrial es una oportunidad que no debiera dejar de considerarse en la planificación del desarrollo municipal.

3.1.3. Resumen de usos posibles del sistema

En la se presenta una síntesis de usos posibles del efluente tratado a la salida del sistema.

Resumen de usos posibles a la salida del sistema

Reúso posible	Riesgo de contacto humano	Uso
1. Irrigación de caminos parques y paseos	1.b. Con acceso humano restringido	Limitado a las superficies con acceso humano restringido
2.	2.a. Bebida de ganado	Posible sin restricciones para ganado adulto

Agropecuario	2.c. Alimentos que se procesan industrialmente	Recomendable si se cumplen barreras en cosecha y manipulación
	2.d. Cultivos para alimento de ganado	Recomendable si se cumplen barreras en cosecha y manipulación
	2.e. Cultivos no alimenticios	Recomendable si se cumplen barreras en cosecha y manipulación
4. Paisajístico y recreativo	4.b. Sin contacto incidental	Posible con restricciones serias por posible eutrofización
5. Industrial	5.a. Construcción	Ilimitado con cloración previa
	5.b. Otros usos industriales	Limitado al caudal y calidad exigido. Probable tratamiento previo.

3.2. Otros reúsos

Además de los reúsos que se le puedan dar de acuerdo con los estándares requeridos para cada categoría, hay que contar con que se deberán remover los lodos de la cámara séptica y del fondo de la laguna facultativa periódicamente. Luego de ser dispuestos en las camas de compostaje o secado, se podría contar con un subproducto del tratamiento de líquido cloacal que puede ser utilizado para fertilización de cultivos no alimenticios.

Debe considerarse, previo al comienzo de las obras, que se necesitará afectar a este subproducto un espacio de disposición y almacenamiento posterior, así como de personal asignado y capacitado para su manejo adecuado.

4. CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones generales

Como solución para un problema puntual percibido se afirma la factibilidad del tratamiento de aguas residuales para ser destinado a seis diferentes reúsos. A partir de los volúmenes obtenidos y los rangos de calidad de efluente alcanzados, se ofrece a las autoridades provinciales y locales los datos que avalan la oportunidad de desarrollar un proyecto de tipo productivo y/o de servicios ecosistémicos.

Los resultados del estudio, con los perfiles ajustados a caudales domiciliarios, clima y disponibilidad del recurso muestran que se obtiene un efluente de calidad suficiente para aplicar a diferentes usos de tipo productivo.

Se daría la posibilidad -de esa manera- de volver eficiente la inversión inicial y los costos de mantenimiento de los procesos de desarsenicación y desalinización del agua subsuperficial de los pozos de provisión de la planta potabilizadora de Concepción del Bermejo.

Para la sugerencia de prueba piloto se tomó un porcentaje representativo de la población (aproximadamente 20%), y se propuso un servicio de colección y tratamiento de líquido cloacal por métodos naturales. Se considera que pueden hacerse los estudios de pre factibilidad para una eventual ampliación del sistema, al total de la población de la ciudad, a partir del estudio presentado.

Los sistemas se eligieron dentro de los tratamientos biológicos de tipo natural, sin reactores mecánicos ni utilización de energía. Aunque los métodos convencionales de remoción de patógenos son a la vez efectivos y confiables cuando son usados adecuadamente, en un rango que puede ir desde los 3 a los 5 log de remoción, sus costos de construcción y mantenimiento, el alto consumo energético y la necesidad de contar con personal cuidadosamente capacitado para su operación, los vuelven menos accesibles a poblaciones de zonas empobrecidas.

El sistema de séptica - humedal HSSF - humedal FWS presenta la doble función de tratamiento de las aguas residuales y de generar un fin en sí mismo, como control búfer de inundaciones, secuestro de carbono y hábitat para la vida silvestre, en un sistema multipropósito. Otorga, a la vez, la posibilidad de crearse un hábitat adecuado para la vida silvestre y otorgar una apariencia estética al tratamiento del líquido cloacal.

Los contaminantes son removidos a través del mismo proceso que en los humedales naturales, aunque en los humedales artificiales se procede bajo condiciones más controladas, con diseño planificado de ingeniería hidráulica. Los humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales municipales se han desarrollado considerablemente en las

últimas dos décadas, hacia una tecnología confiable, que se aplica también a algunos efluentes industriales y a todos los efluentes agrícolas.

Se identificó que la calidad de efluente, abría posibilidades de reuso del agua dulce, dentro de parámetros considerados aceptables para el medioambiente y para algunas actividades productivas agrícolas e industriales, con características de inocuidad para el ser humano. Los resultados brindan a las autoridades municipales y provinciales datos para el análisis de políticas de promoción productiva, de impulso a servicios ecosistémicos o de creación de espacios de recreación paisajísticos urbanos.

Al presentar los resultados, se tuvo en cuenta la realidad social y económica de la localidad y se mostraron de modo que facilite la toma de decisiones. Al considerar la carencia habitual de agua superficial y de ecosistemas acuáticos, se considera que la población local se vería enormemente enriquecida por la posibilidad de contar con recreación acuática y paisaje de humedales en la localidad.

También se consideró la necesidad percibida y expresada de contar en la localidad con algún tipo de empresa o emprendimiento productivo para el desarrollo económico y social de la ciudad de Concepción del Bermejo, por lo que quedan abiertas las posibilidades para dos tipos generales de emprendimientos productivos. El primer tipo de emprendimiento podría ser de tipo agrícola con la inclusión de instancias estatales y trabajo local. El segundo tipo de emprendimiento de tipo industrial, puede tener que ver con la gestión de la instalación de una empresa en la localidad, que pueda utilizar el efluente tratado y generar trabajo y crecimiento económico en la localidad.

Es obvio que las posibilidades de utilización del efluente tratado, tienen un amplio abanico de posibilidades, además de las líneas presentadas. También es claro que es necesario que estudios abarquen un programa integrado en que la solución para la potabilización del agua esté considerada como un todo junto con el efluente domiciliario y el agua en el ecosistema circundante o la necesaria para la industria y las actividades productivas. En definitiva, es necesaria una gestión integral del recurso hídrico.

Estos estudios pueden ser la base de trabajos futuros de pre factibilidad técnica y económica. En este sentido, se recuerda acá nuevamente la afirmación de las Naciones Unidas de que el tratamiento y reuso de las aguas residuales podría contribuir a reducir la presión sobre los recursos dulceacuícolas y que la posibilidad de replicación de esta política se considera muy alta.

4.2. Líneas de trabajo complementarias

4.2.1. Social

El aspecto social debiera contemplarse en todas las etapas del proyecto, acompañando las acciones necesarias para alcanzar la licencia social para operar, que permita que el sistema que cuente con el beneplácito de la sociedad en la que está inserta, y para quien se pensó como servicio.

En este ámbito, se aconseja como base trabajar un mapeo de stakeholders, una matriz comunicacional que incluya los grupos de interés, los mensajeros, los mensajes, los factores político-organizacionales, la planificación cronológica de objetivo y etapas, la comunicación de progreso y auditorías.

4.2.2. Económica

El aspecto económico es uno de los factores que se tuvieron en cuenta en la elección de las tecnologías más accesibles y adecuadas a la realidad socio económica de la provincia del Chaco. Además, deberá desarrollarse una adecuada planificación de costos y financiamiento.

En este sentido, se deberían desarrollar mínimamente algunas herramientas complementarias como: matriz de compras estratégicas, flujo de fondos, curvas de utilización de recursos, desarrollo de índices de performance financiera y de performance de costos y técnicas de análisis de objetivos alcanzados en tiempo y bajo presupuesto.

4.2.3. Complementaria del aspecto Ambiental

Bajo este título, se deberá considerar que tanto el proyecto como la obra y la etapa de inicio de actividades deberán ser precedidas por una evaluación de impacto ambiental. (EIA).

El estudio de impacto ambiental (EslA), se puede basar en los datos consignados en el presente trabajo, a los que tendrá que sumarle la consideración del impacto posible de la creación de humedales (en el caso de elegirse ese sistema) en un ambiente de chaco seco y la incorporación de fauna y flora ausente en la zona.

En el EIA deberá incorporarse la participación ciudadana, la audiencia pública y los planes de manejo ambiental que deben acompañar la gestión futura del sistema elegido, en consonancia con lo enunciado.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

1. Agenda 21 - Naciones Unidas. (1992). *Programa 21: Capítulo 18*. UN.
2. ANMAT. (2012). Capítulo XII - Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. En *Código Alimentario Argentino*. Buenos Aires.
3. APA. (2015). *Precipitaciones mensuales por cuencas*. Recuperado el 2016, de chaco.gov.ar: chaco.gov.ar/apa/temasapa
4. APA. (2010). *Precipitaciones mensuales provincia del Chaco - Período 1956-2010*. Resistencia: Dirección de Estudios Básicos.
5. APA. (2006). Resolución 711/06 - Directorio de la APA. *Maca cuencas hidrográficas de la provincia del Chaco*. Resistencia, Chaco, Argentina: APA.
6. APA. (2005). *Zonificación de Riesgo Hídrico Agroclimático*. Administración Provincial del Agua, Dirección de Estudios Básicos. Resistencia: APA.
7. Banco Mundial. (2010). www-wds.worldbank.org. Recuperado el 24 de 01 de 2016, de Norte Grande Water Infrastructure Development Project: environmental assessment (vol6).
8. Chafloque, W. A. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 15, Nº 17, 85-96 (2006) UNMS MISSN: 1561-0888 (impreso)*, 96.
9. Dahbar, M. O. (2003). *Inventario de la Situación Actual de las Aguas Residuales Domésticas en Argentina*. Lima: Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS.
10. Delgadillo. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Nelson Antequera Durán.
11. DIES - Laboratorio de Teledetección. (2009). *Caracterización de las suzonas RIAN*. Gobierno de la Provincia del Chaco, Departamento de Información Económica y Social de la Provincia del Chaco, Resistencia.
12. ENOHS. (2010). <http://www.enohsa.gob.ar/>. Recuperado el 22 de 01 de 2016
13. ENOHS. (1993). *Normas de estudio, criterios de diseño y presentación de proyectos*. Buenos Aires: Ministerio de Economía - Obras y Servicios Públicos.
14. EPA. (1988). *Constructed wetlands and aquatic plants systems for Municipal wastewater treatment*. Cincinnati: USEPA.
15. EPA. (2011). *Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers*. Cincinnati, Ohio: USEPA.
16. EPAS. (03 de 05 de 2011). http://www.epas.mendoza.gov.ar/images/documentos/usuarios/Ley_Pr ov._6044.pdf. Recuperado el 26 de 01 de 2016, de Ente Provincia del Agua y del Saneamiento: http://www.epas.mendoza.gov.ar/images/documentos/usuarios/Ley_Pr ov._6044.pdf

17. FAO. (2002). *Aguas y cultivos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
18. FAO. (2012). *Copying with water scarcity - An action framework for agriculture and food security (Report 38)*. Rome: FAO - Water Reports.
19. FAO. (2013). *Disponibilidad de aguas subterráneas en el NE Argentino - Estudio del Potencial de Ampliación de riego en Argentina*. Buenos Aires: FAO.
20. FAO. (2010). *The Rural Water Livelihood Index*. FAO - OUCWR.
21. FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Natural Resources and Environment. Rome: FAO.
22. FAO/OMS. (2011). *Guía FAO/OMS para la aplicación de principios y procedimientos de análisis de riesgos en situaciones de emergencia relativas a la inocuidad de los alimentos*. Roma: FAO-OMS.
23. Fernández, C. (2015). El riesgo de las inundaciones en AL y el Caribe. *La crisis mundial del agua - Efectos del cambio climático*. Bogotá: Universidad de Los Andes-BID.
24. Franco, J. -G.-B. (2015). *CONAGUA - Experiencias de desalinización del agua en el NOA*. Salta: Universidad Nacional de Salta / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
25. Giménez, M., Benítez, M., Osicka, R., & Garro, O. (2013). *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 09 de 01 de 2016, de ambiente.gov.ar:
http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/salud_ambiente/File/Aguas%20Arsenicales%20en%20Chaco.pdf
26. Giuseppe Bendoricchio, L. D. (2000). Guidelines for free water surface wetland design. *EcoSys Bd.8*, 51-91.
27. GreyWaterNet. (2014). *GreyWaterNet*. Recuperado el 12 de Agosto de 2015, de www.greywater.net:
<http://www.greywater.net/sistemas-tratamiento-aguas.html>
28. HCDN. (15 de 03 de 2015). www.hcdn.gob.ar. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de Secretaría Parlamentaria:
http://www1.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/NUEVO/Periodo2015/TP2015/2015_tp0010.htm
29. INA. (2015). *Recarga artificial de acuíferos para mejorar las aguadas para uso ganadero en Bajos Submeridionales santafesinos*. Instituto Nacional del Agua, Proyecto de Investigación Subsidiado por SECTEI (Secretaría de Ciencia y tecnología e innovación de la provincia de Santa Fe), Santa Fe.
30. INDEC. (2011). indec.gov.ar. Recuperado el 22 de 01 de 2016, de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
31. Instituto Nacional del Agua - INA. (07 de 2010). www.ina.gov.ar. Recuperado el 22 de 01 de 2016, de
<http://www.ina.gov.ar/pdf/Prospectiva-hidrica-INA.pdf>
32. INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (11 de noviembre de 2014). www.inta.gov.ar. Recuperado el 13 de agosto de 2015, de <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=24459#sthash.VBD0xira.dpuf>
33. IUCN - International Union for Conservation of Nature. (06 de 01 de 2014). *IUCN - International Union for Conservation of Nature*. Recuperado el 14 de 01 de 2016, de iucn.org:

- http://www.iucn.org/es/sobre/union/secretaria/oficinas/sudamerica/sur_trabajo/sur_agua/
34. Jordi Raso, R. S. (2012). *Report - Task A-04 Wastewater Reuse in the European Union*. Madrid: TYPESA.
 35. José Morábito, S. S. (2015). Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. (l. 1853-8665, Ed.) *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* , 47 (1).
 36. Kadlec, R., & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands - Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
 37. McClain, M. E. (2012). *Balancing Water Resources Development and Environmental Sustainability in Africa: A Review of Recent Research Findings and Applications*. Springer Link.
 38. Ministerio de Economía. (2003). *Formaciones Geológicas en la Argentina*. Energía, Departamento de Minería. Buenos Aires: Mecon.
 39. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). *Plan Maestro Metropolitano de Agua Potable y Saneamiento del Área Metropolitana de Cochabamba, Bolivia*. La Paz.
 40. Ministerio de Planificación Federal. (2007). *Argentina. Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos*. Buenos Aires: Ediciones Gráficas Especiales s. a.
 41. Ministerio de Planificación. (01 de 2009). *SAG-Argentina*. Recuperado el 06 de 01 de 2016, de Sistema de Información del Sistema Acuífero Guaraní: <http://pag-ar00.minplan.gov.ar/SAG/>
 42. Ministerio de Salud. (2003). *Inventario de la Situación Actual de las Aguas Residuales Domésticas en Argentina*. Ministerio de Salud, Ministerio de Salud, Dirección de Promoción Y Protección de Salud Ambiental, Lima.
 43. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social del Paraguay. (2011). *Uso de aguas servidas en agricultura en Paraguay. Uso de aguas servidas en agricultura en Paraguay* . Asunción, Asunción, Paraguay: AIS.unwater.org.
 44. Moscoso Cavallini, J. C. (2011). *Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana*. Lima: BMBF.
 45. Murray, D. J. (2012). *U.S. EPA Guidelines for Water Reuse: 2012 Update*. Cincinnati, Ohio: OWEA.
 46. Ostrom, E. (2002). *Diseño de instituciones para sistemas de riego autogestionados*. San Francisco, California, USA: PRESS.
 47. Ovelar, L. L. (2015). *Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Paraguay*. Asunción: SDE/OPS/OMS.
 48. PAHO. (2005). *Especificaciones técnicas para la construcción de tanque séptico, cono Imhoff y laguna de estabilización*. Lima: OPS/CEPIS/05.164 UNATSABAR.
 49. PAHO. (2012). *Evaluación de métodos para el tratamiento doméstico del agua : metas sanitarias y especificaciones*. Ginebra: OMS - ISBN 978 92 4 354822 7.
 50. PNUMA. (2012). *Aguas Saludables para el Desarrollo Sostenible (Estrategia 2012-2016)*. Nairobi: PNUMA.
 51. PNUMA. (2012). *Brief drinking water*. Panamá: PNUMA.

52. PNUMA. (2010). *Clearing the Waters*. Nairobi: PNUMA.
53. PNUMA. (2013). *Estudio de vulnerabilidad e impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano*. Panamá: REGATTA.
54. PNUMA. (2010). *Latin America and the Caribbean Environment Outlook*. Panamá: GEO LAC 3. UNEP.
55. PNUMA. (2012). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial-Opciones de política para América Latina y el Caribe. En J. K. Keisha Garcia, *Informe GEO5 "Opciones para América Latina y el Caribe"*, (pág. Capítulo 12). Ciudad de Panamá, Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
56. PNUMA. (2010). *Planeta muerto, planeta vivo - Diversidad biológica*. Nairobi: PNUMA.
57. Pochat, V. (Julio de 2012). *Ministerio de Ciencia y Tecnología - Argentina Innovadora 2020*. Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de Recursos Hídricos: <http://www.argentinainnovadora2020.mincyt.gob.ar/>
58. Poder Legislativo Provincia de Chaco. (10 de Enero de 2015). Sistema de Recolección de Aguas de Lluvia - Aguas Recuperadas. *Ley Provincial*. Resistencia, Chaco, Argentina: Boletín oficial.
59. Rafat Khalaphallah, M. A. (2014). Wastewater treatment and reuse for irrigation green barley fodder in south valley university-Egypt. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science (ISSN: 2315-5094) Vol. 3(11) pp. 379-386, November, 2014.*, pp. 379-386.
60. Ramírez, L. (2013). Situación del Agua potable en Chaco. *Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE (Nº 10)*
61. Ramos, V. (1999). Rasgos estructurales del Territorio Argentino - Cap 24. En I. d. Minerales, *Geología Argentina* (Vol. Anales 29). Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
62. Renault, D. (2002). *Value of virtual water en food*. Food and Agriculture Organization of the United Nations , Land and Water Development Division (AGL). Roma: UNESCO-IHE.
63. Robert H. Kadlec, S. W. (2009). *Treatment Wetlands - Second Edition*. London: CRC Press.
64. Rohrmann, H. (2013). Panorama Hídrico Provincial. *Director Estudios Hídricos Administración Provincial del Agua*,. Resistencia, Chaco: Dirección de Estudios Hídricos. Administración Provincial del Agua.
65. Santa Cruz, J. N. (15 de Septiembre de 2014). *El arsénico en las aguas subterráneas de la llanura chaco-pampeana argentina*. Recuperado el 12 de Agosto de 2015, de Redagua: <http://www.redagua.org/documento.php?id=377>
66. Sartor, A. y. (2012). Propuesta de Ley Nacional para el reúso de aguas residuales. *18º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente* (pág. 17). Buenos Aires: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
67. Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). www.ambiente.gov.ar. Recuperado el 21 de 01 de 2016, de http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Ptupinambis/File/Plan%20Manejo%20PPFE/Plan_de_manejo_PPFE_Indice-Capitulo_I.pdf
68. *Sed Cero: Agua para el Gran Chaco*. (2013). Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de www.sedcero.org: www.sedcero.org

69. Senado de la Nación - Comisión de Asuntos administrativos y municipales. (28 de 07 de 2011). *Senado de la Nación*. Recuperado el 06 de 01 de 2015, de [senado.gov.ar](http://www.senado.gov.ar:88/10979.pdf):
<http://www.senado.gov.ar:88/10979.pdf>
70. Servicio de Agua y Mantenimiento Empresa del Estado Provincial (SAMEEP). (2007). Aguas con arsénico - Una solución posible. *Estudio de situación en la Provincia del Chaco* (pág. 31). XI REUNION NACIONAL.
71. Servicio Geológico Minero Argentino. (2012). *Servicio de Informacion Geográfica del Servicio Geológico Minero Argentino*. (S. S. SEGEMAR, Editor) Recuperado el 08 de 01 de 2016, de SIG - SEGEMAR: sig.segemar.gov.ar
72. SISAG. (2009). *Síntesis hidrogeológica del Sistema Acuífero Guaraní*. Ministerio de Planificación, Recursos Hídricos. OEA.
73. Solidagro. (2015). *Documentación de Informe de Viajes de Trabajo*. Buenos Aires: Archivo interno Solidagro Asociación Civil.
74. Solidagro. (2016). *Informes de viaje - Febrero 2016*. Buenos Aires.
75. Stephen F. Higgins, C. T. (2008). Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. *UK Cooperative extension service - College of Agriculture*.
76. Subsecretaría de Recursos Hídricos. (2015). *Subsecretaría de Recursos Hídricos*. (P. d. Nación, Editor, & S. d. Públicas, Productor) Recuperado el 05 de 01 de 2016, de Hídricos Argentina: http://www.hidricosargentina.gov.ar/cuencas_cuencas.php
77. The World Bank. (2011). *Water reuse in the Arab World - From principles to practice*. Dubai: UAE.
78. UCPYFE. (2010). *Herramientas para el Proyecto Norte Grande - Préstamo BIRF 8032-AR*. Buenos Aires: Ministerio de Planificación.
79. UCPYPFE. (2007). *Evaluación de Impacto Ambiental - Ruta Provincial nº5 - Capítulo nº4*. Unidad de Coordinación de Programas y Proyectos con Financiamiento Externo, Programa de Infraestructura vial.
80. UCPYPFE. (2015). *Informe de avance de proyectos sanitarios de potabilización*. Recuperado el 11 de 01 de 2016, de [ucepypfe.gov.ar](http://www.ucpypfe.gov.ar/BirfPIHNG/IEA-PmpaAnexo3.pdf):
<http://www.ucpypfe.gov.ar/BirfPIHNG/IEA-PmpaAnexo3.pdf>
81. Uliarte, V. Á. (2014). *Sostenibilidad de los recursos hídricos en la provincia de La Rioja*. Aguas Riojanas SAPEM. , Desarrollo Operacional, La Rioja.
82. UN - Ramsar. (1994). *Convención sobre protección de humedales y plantas acuáticas*. UNESCO.
83. UN - World Water Report. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015-Water for a sustainable world*. París: UNESCO.
84. UN. (26 de 09 de 2008). *Naciones Unidas*. Recuperado el 26 de 02 de 2016, de www.un.org:
<http://www.un.org/en/ga/63/generaldebate/rwanda.shtml>
85. UN World Water Report. (2013). *UN Water Report*. UN.
86. UNEP. (2007). *Global drinking water quality index development and sensitivity analysis*. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System , Water Programme . Burlington: UNEP.

87. Universidad Nacional de Córdoba. (22 de 10 de 2007). *Secretaría de Ciencia y Tecnología*. Recuperado el 07 de 02 de 2016, de www.secyt.unc.edu.ar:
http://www.secyt.unc.edu.ar/_revisar/_Nuevo/portada_print.php?recordID=85
88. USAID. (2011). *Water reuse and enviromental control project . Task 4*. Jordania: AECOM.
89. USEPA. (2012). *Guidelines for water reuse* (Vol. 1). (U. A. Development, Ed.) Washington, USA: USAID.
90. Vymazal. (2008). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Constructed wetlands for wastewater treatment: a review* (pág. 16). Trebon, República Checa: M y Dalwani R .
91. WHO. (2011). *Guidelines for drinking water quality - 4th edition*. Switzerland: WHO Library.
92. WHO. (2004). *Water Treatment and Pathogen Control*. Padstow, Cornwall, UK : IWA Publishing, Alliance House.
93. Wichelns. (2015). Virtual water and water footprints. *Water alternatives* , 8, 396.
94. World Water Council. (2009). *Global Water Framework*. Istambul: 5th World Water Forum.
95. WWAP. (2006). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Naciones Unidas.
96. Yocum, D. (2006). *Manual de Diseño: Humedal construido para el tratamiento de aguas grises por biofiltración*. Santa Bárbara: Bren School of Environmental Science and Management, University of California.
97. Yommi, M. R. (2006). *Gestión integral de agua y saneamiento*. Buenos Aires: Konrad-Adenauer-Stiftung. Außenstelle.

