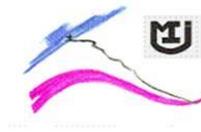


1. INTRODUCCION

El uso de aguas residuales tratadas en riego agrícola forestal es una alternativa para evitar el vuelco a cuerpos receptores hídricos, que resulta de especial interés en áreas donde la escasez de agua afecta las actividades humanas. La zona centro de la Provincia de Río Negro integra los dos tercios de la superficie en la Argentina que presenta balances hídricos negativos la mayor parte del año, esto representa una importante limitación para todo tipo de actividades productivas y en muchos casos hasta se dificulta el abastecimiento de agua para consumo humano.

La localidad de Ing. Jacobacci se localiza en la región centro – sur de la Provincia de Río Negro y se caracteriza por situarse en un ecosistema xérico, con un estado de desertificación medio a grave, siendo su principal actividad económica la ganadería ovina (Godagnone y Bran, 2009). En esta ciudad funciona una planta depuradora de aguas cloacales mediante lagunas facultativas que genera un caudal de agua residual de aproximadamente 200 m³/día proveniente de un barrio de reciente construcción. Los efluentes tratados son dispuestos para riego de una forestación de olivillos y álamos que forman un pequeño macizo de 5 hileras y los excedentes escurren de manera gravitacional a un área de mallín en el faldeo norte del predio. Esta representa un área ambientalmente sensible, considerando la cercanía de la zona urbana y el abastecimiento de agua potable de la localidad que se realiza de perforaciones.

En mayo de 2015 se firmó un Convenio entre el Departamento Provincial de Aguas, la Universidad Nacional de Río Negro, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la Municipalidad de Ingeniero Jacobacci y la Cooperativa de Agua y Servicios Públicos de Jacobacci con el objeto de estudiar, evaluar, desarrollar pautas e implementar la disposición final y reutilización agrícola/forestal de Aguas Residuales tratadas provenientes de la Planta de Tratamiento de Líquidos Cloacales (PTLC) de Ingeniero Jacobacci, dentro del predio de la misma en un Área de Acceso Restringido.



Se presentan aquí los resultados de los trabajos desarrollados en el marco de el convenio, y se agrega complementariamente información acerca de otras actividades fuera del mismo pero relacionadas fuertemente a la temática.

Antecedentes:

En Patagonia la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas para las cuencas del Limay, Neuquén y Río Negro (AIC) desde hace casi una década viene trabajando en el concepto de "vuelco cero". En la Provincia de Río Negro esta temática se ha incorporado a la agenda hace más de 8 años. Se ha presentado y está en discusión en la Legislatura de Río Negro un proyecto de ley que trabaja el concepto de reducción de vuelcos de efluentes tratados o sin tratar a los cuerpos receptores hídricos como así también un proyecto que propone de separación de aguas grises y negras para todos los nuevos edificios públicos provinciales.

En el año 2012 fue publicado un trabajo de la Lic. María E. Alemanni, quien realizó una revisión monográfica, "Reuso de aguas residuales tratadas para riego y su factibilidad de aplicación en la región andina de la Provincia de Río Negro" para optar por el título de Especialista en tratamiento de efluentes y residuos orgánicos. En ese mismo año por iniciativa del DPA, se convoca a varias instituciones para trabajar la temática de la reutilización de efluentes tratados para riego y se firma el convenio "Disposición final y reuso de aguas residuales tratadas en San Carlos de Bariloche". Como producto de ese convenio en el 2013, se genera un informe titulado "Estudio, evaluación y lineamientos generales para la aplicación de aguas residuales tratadas en San Carlos de Bariloche". En este trabajo se cuantifica y caracteriza la producción de aguas residuales, se analizan posibles usos y se dimensionan los cultivos potencialmente realizables, valorando la capacidad receptiva de los suelos más aptos para este destino.

Los resultados de este trabajo indican que en la implementación de proyectos específicos de reúso es importante evaluar el sistema de riego a utilizar considerando las características del sitio, el cultivo y la calidad del agua residual



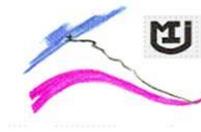
tratada, teniendo en cuenta que una mejor calidad genera menores restricciones en la definición de la tecnología de riego a aplicar.

De la experiencia desarrollada se sugirió que en el diseño de futuros programas de reúso con aguas residuales tratadas era importante analizar:

- La oferta de aguas residuales tratadas, el sitio de descarga y calidad en relación a los requerimientos.
- La sensibilidad pública al uso de aguas residuales tratadas en la zona y la importancia de realizar la consulta a todos los sectores involucrados.
- La opinión de la comunidad directamente implicada en la implementación de sistemas de reúso, suministrando información y generando acuerdos previos.
- Las áreas disponibles para el vuelco y reúso en la zona de influencia de la descarga.
- El sistema de riego y distribución y la factibilidad ambiental, económica y técnica de su implementación.
- Las variables más sensibles del sistema suelo/planta y el diseño de un programa de monitoreo para su seguimiento.
- El principal beneficio de la reutilización de las aguas residuales tratadas lo representa la preservación de la calidad de los cuerpos de agua naturales evitando su uso como cuerpos receptores, pudiendo obtenerse como ventaja adicional un provecho económico por los desarrollos productivos que se alcancen.

2. EL CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA

Como consecuencia de los resultados y sugerencias del convenio 2011-2013 en mayo de 2015 se firmó un Convenio de cooperación técnica entre el Departamento Provincial de Aguas (DPA), la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Municipalidad



de Ingeniero Jacobacci (MIJ) y la Cooperativa de Agua y Servicios Públicos de Ingeniero Jacobacci (CoAySPJ).

El objetivo principal del Convenio suscripto fue evaluar e implementar la reutilización agrícola forestal de aguas cloacales tratadas provenientes de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de Ing. Jacobacci en un área de acceso restringido.

Con la firma del Convenio quedó acordado de manera unánime el Plan General de Trabajo para lograr el objetivo, el cual consistió en:

- Recopilar los antecedentes, estudios y proyectos, caracterizar el área y el lugar específico de aplicación del convenio.
- Elaborar un diagnóstico socio ambiental de Ingeniero Jacobacci con la finalidad de evaluar la potencialidad de reutilización de las aguas residuales tratadas.
- Estudiar el funcionamiento actual de la planta de tratamiento de líquidos cloacales, evaluar cuali - cuantitativa el efluente de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de Ingeniero Jacobacci y determinar los parámetros relacionados a su aptitud de uso para riego agrícola/forestal. Generar propuestas de optimización del tratamiento con la finalidad de obtener un efluente con calidad de uso para riego.
- Evaluar la aptitud edafológica (agrícola y forestal) de los suelos en el predio de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la localidad de Ingeniero Jacobacci.
- Seleccionar los cultivo/s a implantar en función de las características ambientales del sitio. Determinar las variables a evaluar en el sistema suelo – agua – planta. Realizar el diseño experimental con el fin de obtener resultados y conclusiones aplicables a ambientes similares.
- Analizar la demanda hídrica de cultivo/s seleccionado/s. Realizar el diseño y cálculo agronómico e hidráulico del sistema de riego en el/los cultivos seleccionados. Estudiar las alternativas para el vuelco de volúmenes excedentes de efluente tratado.



- Valorar económicamente la implementación del proyecto de reutilización de aguas residuales tratadas en el predio de la PTLC de Ingeniero Jacobacci.
- Generar las pautas para la reutilización de aguas residuales tratadas en el predio de la PTLC de Ingeniero Jacobacci que sirvan como guía metodológica en la elaboración de otros proyectos de reutilización de aguas residuales tratadas.
- Elaborar el documento final.

PERSONAS PARTICIPANTES

INTA: Ing Agr MSc Ma. Victoria Cremona, que coordina el Grupo de Suelo, Agua y Ambiente del Área de Recursos Naturales de la EEA Bariloche, y se especializa en temas de manejo de suelo y agua en zonas áridas, Ing Agr Virginia Velasco especializada en el área de extensión de la AER Ing. Jacobacci y Aldo Zuñiga, auxiliar del Área RRNN que colaboró en todas instalación de ensayos y tareas de campo.) y

UNRN: Ing Agr. Martha Riat, es docente investigadora de la UNRN, integrante del Instituto de Recursos Naturales Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD), Dra. Francisca Laos Docente investigadora de la UNRN y Matías Sánchez estudiante de la Tecnicatura en viveros, becado en dos oportunidades para participar en la ejecución del proyecto

DPA: Ing Agr. Laura Tanzer, Ing Ftal Santiago Magnin y Ing Qca Patricia Fernández

MIJ: Antonio Cayuman, a cargo del cuidado y mantenimiento de las instalaciones y los ensayos realizados en la Planta de Tratamiento

COASyP: Alejandro Fornasa y otros



FINANCIAMIENTO

Las actividades, materiales e insumos que demanda el proyecto fueron financiados por aportes desembolsables de los Organismos participantes y a través del acceso a proyectos de investigación de la Universidad de Río Negro e INTA.

Los proyectos de investigación involucrados fueron:

PI UNRN 2014 40-B-363 “Reutilización de aguas residuales tratadas para riego: estudio de factibilidad y cultivos potenciales en Ing. Jacobacci” (2015-16)

PI DTT 2016 40 B 571: “Desarrollo de tecnología para la reutilización de aguas residuales tratadas provenientes de la planta de efluentes cloacales de Ing. Jacobacci para riego agrícola forestal: ajustes a campo y estudio del impacto ambiental de su aplicación” (2017-2018)

INTA PRET 1281102 “Aportes a la recuperación y desarrollo territorial del semi-árido Sur de la Provincia de Río Negro”

Desde el período 2018-2020 se contó con el financiamiento de otro proyecto de la UNRN y un proyecto de INTA que quedaron fuera del período del presente informe y que continúan en la actualidad,

3. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL MARCO DEL CONVENIO:

CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE TRABAJO

La Provincia de Río Negro tiene una superficie total de 203.013 km² con una vasta meseta correspondiente a zonas áridas con déficit hídrico durante los meses de primavera, verano y otoño.

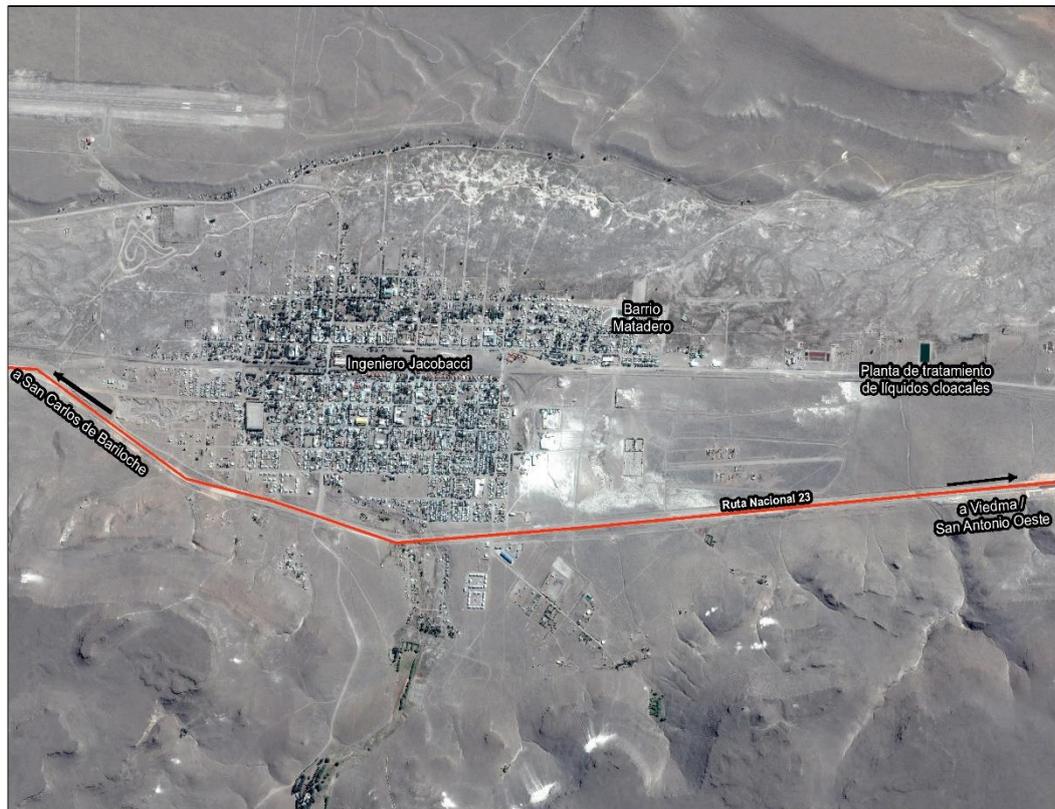
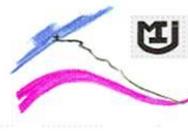
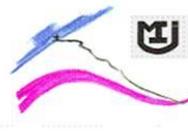


Figura 2 . Ingeniero Jacobacci con referencias.

Según los datos del último Censo Nacional de Población y Vivienda (INDEC) cuenta con una población de 6.261 habitantes, estimándose en la actualidad una población urbana y rural superior a los 10.000 habitantes.

Ing. Jacobacci se encuentra en un área donde la característica de la aridez se acentúa debido a los vientos de la región, predominantes del cuadrante oeste y con velocidades máximas medias mensuales superiores a los 30 km/h, prácticamente durante todo el año (Barrio y Martin, 2012), esto junto a las limitantes hídricas y térmicas genera severas restricciones para el desarrollo de la vegetación natural y cultivada en las áreas urbanas y rurales (figura 2).

Esta zona centro-sur de la Provincia de Río Negro integra los dos tercios de la superficie de la Argentina que presenta balances hídricos negativos la mayor parte del año, lo cual representa una importante limitación para todo tipo de



actividades productivas y en muchos casos hasta se dificulta el abastecimiento de agua para consumo humano. Se caracteriza por situarse en un ecosistema xérico, con un estado de desertificación medio a grave, siendo su principal actividad económica la ganadería ovina (Godagnone y Bran, 2009).

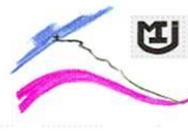
Esta característica se ve agravada en los últimos años por sequías prolongadas y la caída de cenizas volcánicas, que han reducido sustancialmente el rendimiento de los pozos de abastecimiento de agua para consumo.

El uso de agua de pozo para riego, dentro de esta realidad es una alternativa poco sustentable y que pondría en riesgo la disponibilidad para consumo humano. Por otra parte, la calidad para riego de otras fuentes de agua, es muy baja por los altos contenidos de sales y sodio.

Paisaje

La región está conformada principalmente por el fondo de una gran cuenca endorreica (laguna de Cari Laufquen Grande) y las elevadas mesetas basálticas que la rodean, asociadas con complejos de sierras y colinas. El paisaje del área de Jacobacci se corresponde al **Gran Paisaje Depresiones y Planicies Bajas**. Está formado por extensas llanuras onduladas y lomas bajas, comprendidas entre 800 y 1200 m.s.n.m. Los mallines están asociados a valles anchos y frecuentemente salinizados, correspondiente a los sectores más bajos del sistema de drenaje, los que terminan en amplias lagunas temporarias, muchas veces con playas salinas y vegetación halófila en sus alrededores.

Las aguas superficiales de las altas cuencas son de buena calidad en general pero muy escasas. Hacia las cuencas medias aumenta la disponibilidad, pero a medida que se avanza hacia las cuencas inferiores aumenta el contenido de carbonatos, sulfatos, dureza y la contaminación biológica, sobrepasando en muchas ocasiones los niveles de valores químicos y biológicos aceptables para el uso humano. En cuanto a las aguas subterráneas los pozos de agua y perforaciones oscilan entre 3 y 30 m de profundidad. La calidad de las mismas es variable, desde aptas para el consumo (aunque presentan elevada dureza) a no



aptas por el alto contenido de sulfatos, el exceso de flúor y en algunos casos por presencia de contaminación con nitritos (Bran et al, 2010).

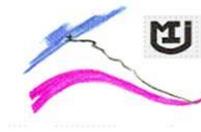
Hidrología

Según una evaluación integral realizada para estudiar la provisión de agua, realizada por el CFI en 1991, los arroyos que recorren el área son de régimen de deshielo, cuyo caudal depende directamente de estos aportes y en períodos a veces de varios años están secos. La mayoría son líneas de drenaje de los cañadones formados en las mesetas que corren hacia los niveles más bajos, en algunos casos cruzan transversalmente la planta urbana con dirección sur-norte hasta llegar a la cuenca del Huahuel Niyeo.

La capacidad de recarga del nivel de terraza donde se asienta la planta urbana tiene condiciones adecuadas, es una de las fuentes explotadas, pero dado que no existe red de captación de efluentes cloacales los fenómenos potenciales de contaminación limitan su utilización. El agua tiene excesos de contenidos de flúor y minerales para ser utilizada para consumo humano.

El informe del CFI – DPA concluye que el subálveo del cañadón Huahuel Niyeo es la fuente más importante de abastecimiento con potencialidad en el nivel freático y en el primer nivel artesiano, de buen rendimiento y calidad química óptima. Se define esta zona de gran potencial para la explotación por medio de pozos, especialmente en el área localizada aguas arriba del escurrimiento lateral de la planta urbana. Este escurrimiento de la napa freática podría potencialmente afectar su calidad.

El subálveolo del Huahuel Niyeo no tiene una escorrentía permanente, su dinámica está vinculada a procesos de deshielo o de regímenes de lluvias muy fuertes. El curso es divagante, de poca profundidad, que va cambiando el área de inundación. La amplitud del ancho de la planicie de inundación se encuentra entre 400 a 1000 metros.



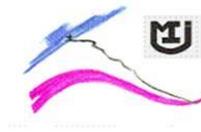
En el área correspondiente al Barrio Matadero el cauce principal se encuentra a 300 metros en dirección norte y está a 3 metros por debajo de los niveles de calzada

El concepto de capacidad de vuelco no puede ser aplicado considerando al arroyo Huahuel Niyeo y a los otros arroyos de la región, cuerpos receptores de los efluentes, ya que sus regímenes irregulares impiden realizar evaluaciones vinculadas a relacionar los caudales de vuelco con el módulo de dichos arroyos, debido al régimen climático de la región y su variabilidad, en la mayoría del tiempo sus cauces se encuentran secos.

El Barrio Matadero se encuentra en el área más baja, en la dirección de escorrentía de la napa, por lo que a ese sector se direccionan los flujos de las napas superficiales de todo el pueblo, que en el caso de Ingeniero Jacobacci, presentan un alto grado de contaminación. Esto se debe al tipo de tratamiento domiciliario de los líquidos cloacales existentes, que en su mayoría son sólo la instalación de pozos sin cámara séptica los que, en algunos sectores, llegan a la napa. En función de estas características y de la escasa profundidad de la primera napa en el Barrio Matadero en particular, se considera que no son aplicables los sistemas individuales de tratamiento de líquido cloacales ya que no aseguran resolver adecuadamente el problema.

En particular existe un conjunto de aspectos que limitan la posibilidad de tratamiento con sistemas individuales de diferentes tipos: pozos y cámaras sépticas, lechos nitrificantes o filtros biológicos, entre estos aspectos cabe destacarse los siguientes:

- la napa de agua está a muy pocos metros con una variabilidad estacional importante, que en algunos momentos llega a menos de 1 metro de profundidad;
- las bajas temperaturas que inhiben la actividad bacteriana;
- la conexión directa de esta napa con la dinámica del arroyo Huahuel Niyeo, que según los estudios realizados han indicado a este subálveolo como la potencial fuente de provisión de agua más importante de la localidad.



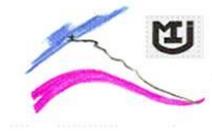
En el año 2012 se instaló un sistema de tratamiento de líquidos cloacales dentro de un barrio construido mediante el Programa de Mejoramiento de Barrios de la Nación, sirviendo a 220 viviendas. El proyecto definitivo contempla la construcción de tres lagunas facultativas, de las cuales en la actualidad se encuentra en operaciones la primera de ellas, generando un agua cloacal tratada cuya reutilización se plantea probar mediante la ejecución de este proyecto.

El mallín

Por el alto grado de degradación de esa área es importante la definición de las especies naturales asociadas con las características de un mallín salado. Los suelos que se encuentran en el área son mayormente Aridisoles con horizontes arcillosos o con calcáreo (Haplargides, Calciortides) y Entisoles, frecuentemente de texturas gruesas (Torriortentes, Torripsammentes). En posiciones bajas, Natrargides (presencia de sodio) y Fluventes (formados por el transporte fluvial)” (Convenio INTA/Pcia. de Río Negro, 1985).

Según informe generado por el INTA el estado del ambiente del mallín que conforma el área comunal presenta un gran deterioro del suelo y la vegetación lo que atenta contra el almacenaje de agua subsuperficial. El deterioro esta generado por procesos de erosión hídrica y eólica acelerados por la pérdida de cobertura vegetal.

Las dos actividades que se han desarrollado en el área del mallín son: el pastoreo de animales sueltos y la presencia de los hornos ladrilleros que levantan la capa suelo orgánico superficial. En relación a la producción de ladrillos: no se tiene información precisa acerca de cuantas familias viven de esta actividad ni qué cantidad de suelo usan para cada horneada y cuantas horneadas realizan. Asimismo, tampoco hay información de la cantidad de animales que pastorean en el mallín.



Clima

El clima de la región es árido, con inviernos muy fríos y veranos secos y ventosos. La precipitación media del Sitio Piloto Jacobacci, de acuerdo a las diversas estaciones pluviométricas varía de 150 a 210 mm anuales (tabla 1). Las precipitaciones tienden a estar ligeramente concentrada en la estación fría. Como en la mayoría de las regiones áridas presentan una importante variabilidad entre años. Considerando la serie de Ing. Jacobacci (período 1942-1991; Bustos 1993): en el año más lluvioso (1984) cayeron 407 mm y en el más seco (1989) 29 mm.

Tabla 1: Precipitaciones medias mensuales (Sitio Piloto Jacobacci – INTA)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Jacobacci	6,7	10,4	15,0	13,3	23,5	22,6	19,7	15,7	13,9	14,3	6,8	8,1	170,0

La temperatura media anual del sitio varía entre 7 y 10 °C (tabla 2). Según Bustos (1995) para la localidad de Jacobacci la temperatura media del mes más cálido es de 26°C, la temperatura media del mes más frío es de -0,8 °C y se ha registrado como mínima absoluta -30 °C. En la Figura 3 se presenta el climodiagrama de la localidad de Ing. Jacobacci. Siguiendo la clasificación de Thornthwaite el Sitio entraría en la categoría árido mesotermal, con poco o ningún excedente de agua y baja concentración térmica de verano (EB'1da').

Tabla 2: Temperaturas medias mensuales (Sitio Piloto Jacobacci – INTA)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Jacobacci	15,1	13,9	12,3	8,9	4,4	3,8	1,1	0,5	4,8	8,0	10,7	14,6	8,2

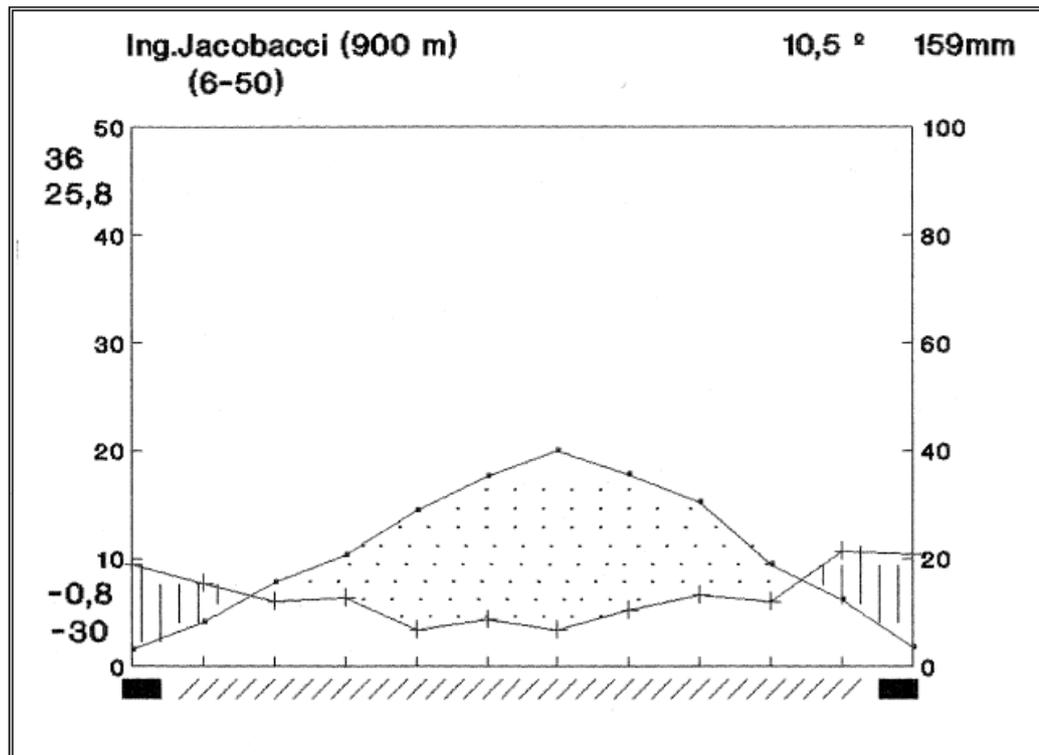
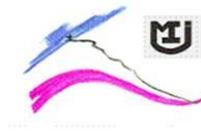


Figura 3. Climodiagrama de la localidad de Ing. Jacobacci (Bustos, 1995)

Flora y Fauna

En el área de Ing. Jacobacci se encontrarían los Distritos Occidental y Central (Soriano, 1956; Leon et al.1998) de la Provincia Fitogeográfica de Patagonia (Cabrera, 1971). La formación vegetal predominante es la de estepa subarbustivo - graminosa

En las mesetas basálticas el estrato graminoso está conformado principalmente por *Poa ligularis*, *Stipa speciosa var. speciosa*, y en ocasiones por *Festuca argentina* y el estrato subarbustivo está conformado por *Nassauvia glomerulosa* "cola piche, uña de gato", *Junellia erinacea* "tomillo espinoso", *Mulinum spinosum* "neneo", *Grindelia chilensis* "boton de oro", *Maihuenia patagónica* "maiheen" y *Senecio filaginoides*, con frecuente presencia de cojines en placa como *Adesmia auerii* y *Azorella monantha* "leña piedra". En los bolsones arenosos predominan *Mulinum spinosum* y *Stipa speciosa var. major*.



En planicies bajas y depresiones predominan en el estrato gramíneo *Stipa humilis* y en el subarborescente, *Senecio filaginoides* y *Nassauvia glomerulosa*. Otras especies comunes son *Mulinum spinosum*, *Stillingia patagónica* “mata crespá” y *Nassauvia axillaris*. Es frecuente encontrar algunos arbustos medios (de 1 a 2m de altura) distribuidos de manera irregular, en pequeños grupos o como ejemplares aislados, de *Lycium chilensis* “piquillín de las víboras”, *Junellia ligustrina*, *Prosopis denudans* “algarrobo patagónico” y *Schinus molle* “molle o aguaribay”

En los sectores más bajos, principalmente en los alrededores de la laguna de Carrilufquen Grande se encuentran estepas halófitas de *Atriplex lampa* “zampa” en ocasiones acompañada por *Chuquiraga avellanadae* “trayan o sombra de toro”, *Lycium ameghinoi* y *Nassauvia ulicina*.

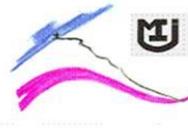
La fauna característica de la zona está conformada por especies tales como liebre patagónica, guanacos, zorro gris, zorro colorado, piche, peludo, ñandú, águila mora, aguilucho, ñanco, teros, abutardas, etc. Además, en los alrededores de Jacobacci se puede encontrar una variada y abundante fauna de lagartos de los géneros *Phymaturus* y *Liolaemus*, fundamentalmente.

Una particularidad en la fauna se encuentra la laguna Carrilufquen, donde se pueden apreciar flamencos, patos silvestres y, eventualmente, gaviotas.

Organización social y económica

Las actividades socio – económica de Ing Jacobacci en el área urbana se desarrollan principalmente vinculadas al sector terciario de la economía y dependientes del sector público administrativo y político.

Existen en la ciudad delegaciones de muchos entes de la administración pública nacional y provincial: Rentas, Registro Civil, Trabajo, Consejo Provincial de Educación, Ministerio de Economía (allí funcionan las oficinas de Tierras, Se.Na.Sa, Ente de la Región Sur, Ganadería, Recursos Naturales), Agencia de Extensión Rural INTA, IPROSS, Unidad 14ta. de Policía e Inspectoría Regional de Policía de



Río Negro, Juzgado de Paz, Defensoría Pública, PAMI, Ente de desarrollo de la Línea Sur

También hay Organizaciones no gubernamentales: Cámaras empresarias (Cámara de Comercio, Industria y Minería, Asociación Ganadera, ARCAN (Asociación Rionegrina de Caprinocultores de Angora), FECORSUR (Federación de Cooperativas de la Región Sur); Sindicatos y Mutuales (Unter, UPCN, SOYEM, Luz y Fuerza); Consejo Asesor Indígena; Cooperativa de agua y servicios públicos.

También hay servicios financieros (Banco Patagonia, Banco Nación), servicios turísticos (Hotelería y gastronomía), comercios.

En el sector primario de la economía la principal actividad es la ganadera con la producción de ovinos de raza Merino para lana fina (170.000 cabezas), y en segundo lugar la de caprinos de raza Angora para producción de fibra mohair (40.000 cabezas); ambos productos son destinados a la exportación. Existen algunos sistemas mixtos ovino-caprinos. La producción de carne en estos sistemas es un complemento (un subproducto del sistema), que de acuerdo a las condiciones climáticas del año, al manejo y a los precios relativos puede representar un porcentaje importante del ingreso económico. Algunos productores poseen además algunos bovinos (condicionado a la disponibilidad de mallines). Los equinos están presentes en todos los establecimientos, pero en general no son considerados como alternativa económica.

Dentro del sector secundario se destaca la explotación de la diatomita, una roca blanda de origen lacustre que se utiliza para el blanqueo, filtrado y carga aislante en diferentes industrias, la Mina Calcatreu (ubicada a 60 Km de Jacobacci), yacimiento de oro y plata y el Matadero municipal.

TALLERES DE PERCEPCION Y SENSIBILIZACION SOCIAL

El uso de aguas residuales puede generar fuerte oposición de la ciudadanía por falta de información y confianza con respecto a los posibles riesgos para la salud humana. Aunque los proyectos de utilización de aguas residuales estén bien diseñados desde el punto de vista técnico, parezcan económicamente viables y



tengan incorporadas medidas de protección sanitaria adecuadas, los esquemas de reutilización del agua pueden fallar si los encargados de la planificación no enfrentan de manera adecuada la dinámica de la aceptación social.

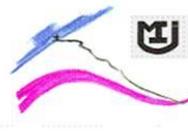
Por lo señalado, dentro del Convenio, se incluyeron una serie de actividades para sensibilizar a la población local sobre la potencialidad de la reutilización de aguas residuales tratadas para la localidad de Ing. Jacobacci.

Las actividades fueron organizadas en una talleres con diferentes actores de la comunidad con el objeto de:

- i) dar a conocer a la comunidad de Ing. Jacobacci el proyecto de reutilización de las aguas residuales tratadas (Convenio DPA-UNRN-MIJ-INTA, en trámite);
- ii) exponer videos e imágenes de experiencias de reúso de aguas tratadas en otras localidades del país;
- iii) conocer la valoración que tienen los participantes de los recursos hídricos de la localidad;
- iv) indagar las expectativas, inquietudes, opiniones de los diversos actores sobre el reúso de las aguas tratadas y
- v) conocer la opinión de los actores respecto de los potenciales usos de las aguas tratadas

La metodología de trabajo utilizada se basó en un abordaje cualitativo a través del relevamiento de información y sistematización de datos de fuentes primarias. La elección del abordaje cualitativo se sustenta en conocer en profundidad la opinión de los actores sociales sobre la temática en particular de esta investigación.

La perspectiva cualitativa, como estrategia interpretativa, se orienta al descubrimiento de categorías de análisis que sobre la base de la observación y descripción permiten una comprensión más profunda de los escenarios, actores y representaciones que se investigan.



Las unidades de análisis sobre las que se relevó información fueron: comunidad en general, potenciales usuarios de las aguas tratadas, integrantes de organizaciones de la comunidad y funcionarios.

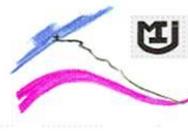
Se realizaron 4 talleres, Los 2 primeros talleres estuvieron a cargo de Sociólogos de la Sede Andina (Capuano, A. y Guevara, T.) (figura 4), y el tercero y cuarto a cargo del Antropólogo Carlos Peralta de la Regional Bariloche del INTA con la participación del resto de los integrantes de este proyecto.

El primero fue dirigido a los funcionarios de las distintas instituciones de la vida política y social de la localidad. Representantes de los organismos del gobierno provincial o municipal, y con prestadores de servicios.



Figura 4. Taller realizado con referentes Institucionales a cargo de Tomas Guevara y Ana Capuano

El segundo taller se realizó con todos los docentes (figura 5) de la localidad de los distintos niveles para conocer las representaciones sociales y prenociones de las que son portadores los docentes de las escuelas de Ingeniero Jacobacci sobre la posibilidad de implementar esta técnica para usos productivos agrícolas y forestales. Tuvo el objetivo de lograr en cada docente un multiplicador social del tema tratado, que replique a través de los alumnos estos conceptos incluyéndolos en clases y actividades prácticas.



El tercer y cuarto taller se destinó a la comunidad en general. Se avanzó inicialmente con una convocatoria de mayor amplitud a personas con algún grado de referencia barrial o de organización de base para luego lograr una convocatoria más amplia en un taller abierto a toda la comunidad.

Se planteó desarrollar un diálogo que recogiese con la mayor fidelidad posible las inquietudes y reflexiones de los vecinos, sin influir sobre ellas con demasiada información previa.

La presentación de la experiencia de tratamiento y reutilización del agua de la localidad se desplegó en los términos más sencillos posibles como simple motivadora de la reunión y sin mayores juicios de valoración respecto a su importancia y resultados e hipótesis de o potencialidad.



Figura 5. Taller realizado con docentes Puesta en común en el Taller con docentes.

Los resultados esperados de los talleres eran los siguientes:

- Identificar las ventajas y desventajas que tiene en opinión de la comunidad la reutilización de aguas residuales tratadas.



- Realizar sugerencias y recomendaciones de como difundir la información para que el reúso de aguas tratadas sea considerado como una estrategia viable en el marco de las dificultades con el agua que hay en la comunidad.

A modo de síntesis, de los talleres la preocupación sobre la abundancia o escasez del agua como recurso surgió como una reflexión secundaria respecto a la gestión cotidiana del servicio de distribución. Esta situación en marca también las opiniones sobre la reutilización de aguas servidas. En general:

- No se conoce la experiencia de reutilización de aguas. Conocida, la experiencia es valorada como positiva en términos generales como experiencia
- Habría una aprobación para los resultados de la experiencia pero, ante la posibilidad de usos más cercanos, hay muchas dudas que se incrementan hacia el rechazo a medida que la distancia con la vida cotidiana se reduce. Así se estima que hoy puede haber aceptación de la creación de forestaciones o espacios verdes fuera del ámbito urbano y algunos usos industriales o en emprendimientos. Pero también parece haber fuertes dudas comenzando con la utilización de dichas agua para la producción de forrajes con destino a la alimentación de animales y mucho más acentuadas, para otras producciones agrícolas de consumo humano. Salvo estos usos mencionados no parece que los participantes vislumbren otros (riego de calles o espacios verdes urbanos) como posibles.
- La comunicación responsable es vista como una vía para despejar algunas dudas. Consultados los participantes sobre los medios de comunicación más adecuados enumeraron:
 - o Programa de radio, lo que hay no parece suficiente
 - o Trabajo en las escuelas
 - o Presentaciones o difusión de la temática en eventos masivos
- Trabajarlo desde todos los ámbitos (no solo el DPA es responsable) sino todas las instituciones deben hablar de un uso responsable el



agua en las acciones que las involucran (escuelas, salud, huertas, producciones varias, gobierno, iglesias, etc).

ANÁLISIS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOCALES

Para iniciar un proceso de recomposición de la calidad de agua subterránea se planificó un recambio en el sistema de tratamiento de los efluentes cloacales de la localidad. En un orden de prioridades los sectores de mayor impacto a la calidad del agua subterránea son los que se correspondieron con las zonas más bajas como el Barrio Matadero, ya que sus sistemas de pozos estaban conectados en forma directa con la napa freática, en este sentido se proyectó la construcción de un sistema de redes y de tratamiento de líquidos cloacales que permita ser el inicio de un proceso de saneamiento integral de la localidad.

El Proyecto fue realizado por el Departamento Provincial de Aguas y planteo para el tratamiento de los efluentes un sistema de lagunas facultativas con un punto de vuelco final, posterior a la cámara de cloración en un área destinada a riego.

Las obras fueron ejecutadas por el Programa de Mejoramiento de Barrios en el año 2010 y comenzó el llenado en el año 2011 estando operativa a partir del año 2013. La operación quedo en manos de la Cooperativa de Aguas y otros Servicios de Ing. Jacobacci.

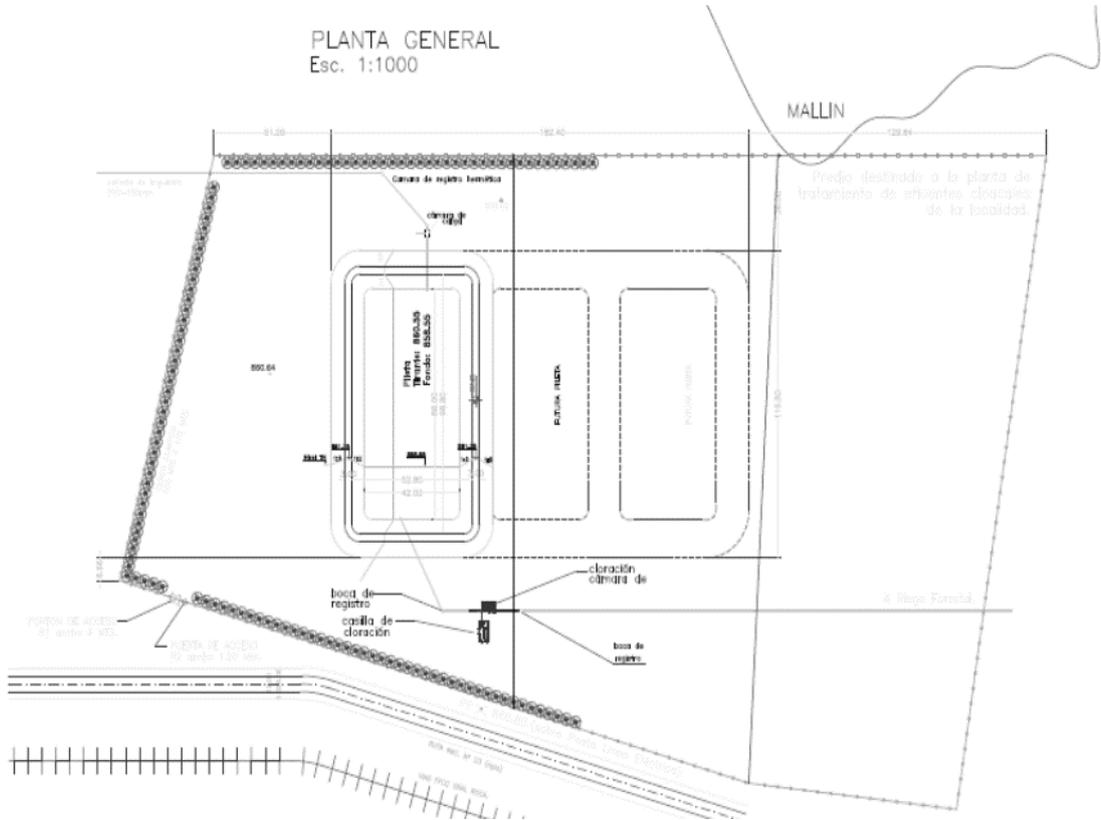
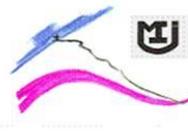
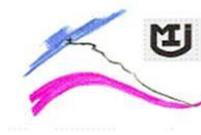


Figura. 6. Plano Proyecto Planta de Tratamiento Efluentes Cloacales –Ing. Jacobacci - Proyecto – Ing. C. Vivas - DPA



Figura 7. Vista de la planta de tratamiento



El proyecto completo propone la ejecución de tres lagunas facultativas (figura 7). A la fecha se encuentra ejecutada la primera laguna facultativa con un volumen de aproximadamente 8950 m³, con dos aireadores de superficie que permiten que en épocas de muy bajas temperaturas el agua no sufra congelamiento.

El carácter modular de las lagunas, hace posible su futura incorporación y uso dentro de lo proyectado en plan general anteriormente mencionado.

Las conexiones existentes a la fecha son de 220 y se estima un caudal de ingreso estimado diario de 160 m³.

La ubicación propuesta para las lagunas que trataran los efluentes cloacales, se encuentra en un sector ubicado a 1425 metros en dirección este del sector de intervención. Desde el punto de vista técnico y sanitario es la más adecuada para el sector y la localidad.

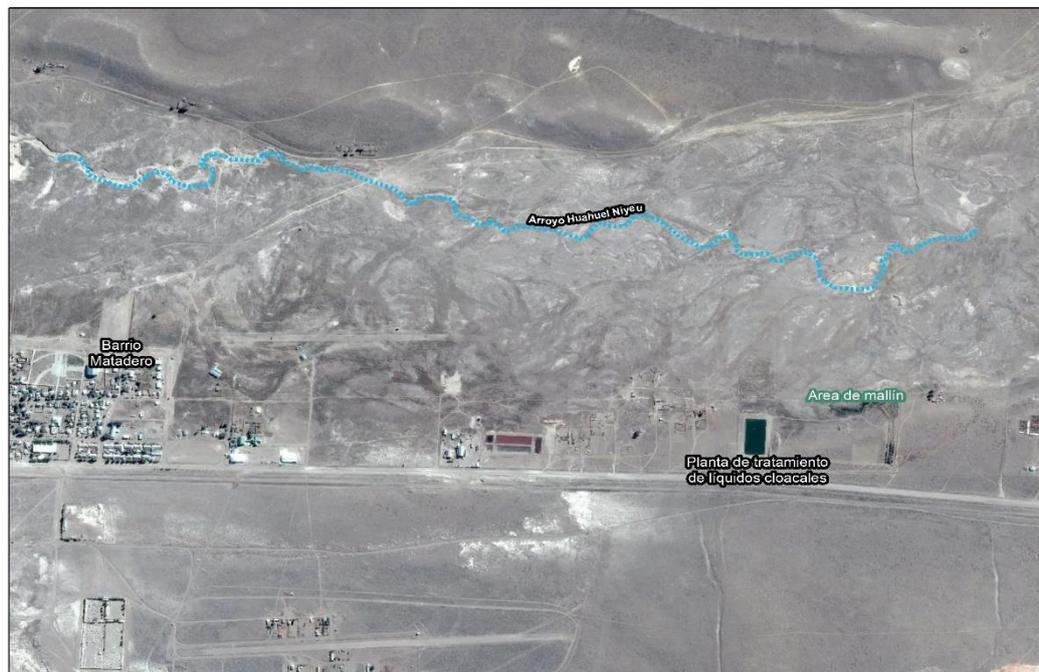
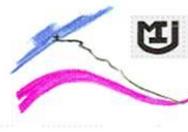


Figura 8. Localización de la planta de tratamiento de efluentes cloacales

Los líquidos colectados de la red llegan a la laguna de la Estación elevadora que se ubica en el punto más bajo del sector del barrio, en el extremo noreste de la



manzana N° 238, y son conducidos por el nexo cloacal hasta una boca de registro en la entrada a la planta de tratamiento, ubicada en dirección este, en proximidades a la actual Planta de afluentes industriales del Matadero Municipal (figura 8).

Posteriormente a la cámara de cloración (que no está en funcionamiento), los líquidos tratados, son bombeados a través 330 metros de cañería de PVC de Ø 160 mm con disposición final a cielo abierto.

La disposición final por proyecto era el riego de una forestación en un predio aledaño a la planta. Dicho proyecto quedó inconcluso dentro de la ejecución de obra del Programa.

Luego de la recepción de la obra y el servicio, la Cooperativa lo retomó y ejecutó en el mismo predio de la planta, en un sector ubicado en su extremo SE, con la plantación de 3 hileras de forestación de ejemplares de Olivillo y Álamos (figura 9), regados por surcos, con un excedente que por gravedad llega al sector más bajo del predio de la planta afectando el área de mallín (figura 10)



Figura 9. Disposición final del efluente en riego forestal. Año 2014

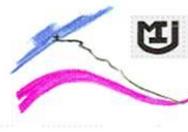


Figura 10 Excedentes del efluente cloacal en el Mallín

Análisis de calidad del efluente

Desde el inicio del convenio se realizaron muestreos estacionales en otoño, invierno y primavera del efluente de entrada y salida de la planta con la medición de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos que permitieran caracterizar el funcionamiento de la planta y la calidad del efluente para su disposición con riego.



Tabla 3. Resultados de muestreos de parámetros físico químicos – Planta de tratamiento Ing. Jacobacci

Planta Jacobacci	Fecha	Mn	pH	CE	SS 10min	SS 2 hs	DBO	DQO	N Kjelhal	F total	Aspecto
Límites de vuelco (Resolucion 1423/15)					0,5	1	50	250	10	5	
Protocolo 2880 S/F	E	6/11/2013			0,5	2,3	252	460	55	6,2	turbio
	S	6/11/2013			<0,1	0,1	34	345	69	8,1	turbio
Protocolo 2890 S/F	E	15/11/2013			0,8	2,9	242	460	74	7,1	turbio
	S	15/11/2013			<0,1	0,1	29	453	49	7,8	turbio
Protocolo 2946 S/F	E	19/3/2014	7,6	2,1	6	2,5	169	540	109	9,8	Muy turbio
	S	19/3/2014	7,1	2	1	2	108	430	24	7,8	Muy turbio
Protocolo 3131	E	20/11/2014			<0,1	2,5	111	394	58	5,7	Muy turbio
	S	20/11/2014			<0,1	<0,1	66	450	48	7,7	Muy turbio
Protocolo 3243	E	21/4/2015			0,1	0,4	177	466	49	7,4	Muy turbio
	S	21/4/2015	7,6	1,6	<0,1	<0,1	43	358	25	7,1	turbio
Protocolo 3268	E	16/6/2015						635	97	9,5	Muy turbio
	S	16/6/2015	7,6	1,9	0,5	4		270	48	7,9	Muy turbio
Filtro común de papel	S. FC	16/6/2015	8,2	1,9	<0,1	<0,1		204	41	8,8	
Filtro de 1,2 micrones	S. F1,2	16/6/2015						126	38	6,4	



Muestreo completo

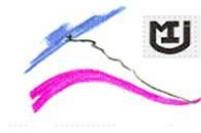
Se realizó un muestreo completo con el laboratorio de la Provincia (CIATI) el 28 de septiembre de 2015, donde se analizaron todos los parámetros normados por la Legislación.

Tabla 4. Muestreo completo de parámetros físico – químicos y microbiológicos del efluente – Planta de tratamiento de Ing. Jacobacci.

A- PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			
Determinaciones	Unidad	Resultados	Valor limite
pH		8,63	6-9
Conductividad		1735	3000
RAS		5,9	10
Grasas y Aceites	mg/L	<LC=0,1	10
Sólidos Sed. en 10 minutos	ml/L	0,4	0,5
Sólidos Sed. en 2 horas	ml/L	0,8	5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	118	150

SUSTANCIAS TOXICAS E INORGANICAS			
ANIONES			
Determinaciones	Unidad	Resultados	Valor limite
Sulfatos	mg/L	161	600
Cloruros	mg/L	145	500
Fluoruros	mg/L	0,98	5
Sulfuros	mg/L	ND	1
Cianuro	mg/L	ND	0,01
Agroquímicos	mg/L	ND	

CATIONES			
Determinaciones	Unidad	Resultados	Valor limite
Sodio	mg/L	227,6	500
Boro	mg/L	ND	4
Manganeso	mg/L	0,19	0,5
Bario	mg/L	0,042	4
Hierro total	mg/L	3,233	5
Aluminio	mg/L	3,444	5
Arsénico	mg/L	0,0046	0,05
Cadmio	mg/L	<LC=0,1	0,01
Cobre	mg/L	0,006	3
Cromo total	mg/L	0,0035	0,5
Talio total	mg/L	ND	...
Niquel	mg/L	0,0031	0,1
Mercurio	mg/L	<LC=0,2	0,005
Plomo total	mg/L	0,001	0,05



Selenio total	mg/L	<LC=1	0,01
Antimonio total	mg/L	ND	...
Potasio	mg/L	<LC=50	...
Magnesio	mg/L	33,1	...
Calcio	mg/L	81,9	...
Estaño total	mg/L	<LC=10	...
Molibdeno total	mg/L	<LC=5.0	...
Plata total	mg/L	ND	...
Cobalto total	mg/L	0,0012	...
Berilio total	mg/L	ND	...
Vanadio total	mg/L	0,0031	...

B- NUTRIENTES

Determinaciones	Unidad	Resultados	Valor limite
Nitratos	mg/L	9	10
Fosforo total	mg/L	0,2460	10

PARÁMETROS ORGANICOS

Determinaciones	Unidad	Resultados	Valor limite
Demanda Biológica de oxígeno	mg/L	166	
Demanda Química de oxígeno	mg/L	367,4	
Detergentes	mg/L	<LC=0,3	
Fenoles	mg/L	ND	

E- PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

E- Parámetros Microbiológicos			
Determinaciones	Unidad	Resultados muestra clorada	Valores límite
Bacterias Aerobias	UFC/ml	1,2*10 ⁶	*
Coliformes Totales	NMP/1000 ml	1,6*10 ⁷	*
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9 10 ⁵	**
Pseudomonas aeruginosas	NMP/100 ml	Ausencia	*
Helmintos (comprende al phylum Nematodes y Platelmintos) ***	Huevos/1000 ml	0	**



Otros Resultados de muestreos Bacteriológicos y Parasitológicos

Complementariamente se realizaron 2 estudios bacteriológicos, uno de un laboratorio de Bariloche (Dibio) y el segundo del laboratorio de la Provincia (CIATI).

FECHA: 19 de Noviembre de 2014

Resultados:

Parámetros	Metodología	Unidad	Muestra Entrada	Muestra Salida	Límite Tolerable COFES (1)
Coliformes Totales	Técnica NMP	NMP/100 ml	12×10^6	9.3×10^4	N/A
Escherichia Coli	Técnica NMP	NMP/100 ml	7×10^5	3×10^3	N/A

(1) **Límite Tolerable:** Es la concentración de un componente que no debe superarse, por significar un posible riesgo para la salud.

FECHA: 15 de Septiembre de 2015

RESULTADOS
(Expresados a la concentración de la muestra recibida)

Análisis	Resultado
DETECCIÓN DE Salmonella spp.	Ausencia /100 ml
NMP. DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES (FECALES)	130×10^3 /100 ml

Observaciones:

El efluente a la salida de planta no es clorado ya que hay una alta concentración de algas lo que generaría compuestos tóxicos con el cloro. Los muestreos realizados son pocos y muestran gran variabilidad.

Resultados muestreos Parasitológicos

Se realizaron dos muestreos según protocolos específicos que fueron analizados por el laboratorio Parasitológico de la UNC. Se realizó uno a fines del otoño 2015 (mes de mayo) y otro a fines de la primavera 2015 (mes de diciembre).

Caracterización final del líquido residual

- Los resultados informados en el muestreo del mes de mayo :



Las muestras de SALIDA presentaron formas compatibles (huevos y quistes) con parásitos como: Ascaris no fértiles, Strongyloides sp., Amoeba sp y Coccidios. Las muestras de ENTRADA presentaron formas compatibles (huevos) con parásitos como: Toxocara sp. y Ascaris sp. no fértiles.

- Los resultados informados en el muestreo del mes de diciembre:
La muestra analizada no contiene huevos de helmintos patógenos.

Conclusiones sobre la calidad del efluente

Según la legislación vigente los efluentes provenientes de la planta depuradora de Ing. Jacobacci son aptos para el riego forestal dando cumplimiento a la Res. 1423/15 del Departamento Provincial de Aguas.

La calidad del efluente para riego se encuentra cercano al límite de pH con lo que se recomienda el monitoreo en el suelo de este valor y el de conductividad eléctrica.

La presencia de algas en el efluente afecta las posibilidades de desinfección y el uso de sistemas de riego localizado lo que hace necesario el afinamiento del efluente.

EVALUACIÓN DE LA APTITUD EDAFOLÓGICA (AGRÍCOLA Y FORESTAL) DE LOS SUELOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIQUIDOS CLOACALES DE ING JACOBACCI.

El predio donde se encuentra la planta de tratamiento de efluentes cloacales de Ingeniero Jacobacci es una zona de planicies bajas asociadas al mallín que bordea el arroyo Huahuel Niyeu a cuya margen se ubica el pueblo. Este paisaje está formado por extensas llanuras onduladas y lomas bajas, comprendidas entre 800 y 1200 m s.n.m. con vegetación de estepas arbustivo-graminosas. Dominan suelos moderadamente profundos a profundos, de textura uniforme con frecuente presencia de carbonatos de calcio y frecuente a escasa pedregosidad (Petrocalcides típicos, Paleargides líticos; Petroargides típicos y Haplocalcides típicos).



En el predio se observa una pendiente suave sur-norte que baja abruptamente en el extremo norte del predio hacia el mallín mencionado. Para la instalación del ensayo de reúso se seleccionó entonces el extremo sur-este del predio, en donde se realizaron calicatas y muestreos exploratorios para caracterizar el suelo del mismo.



Figura 11. En el recuadro el área sistematizada para los ensayos.

En las calicatas se observó la existencia de un horizonte arenoso franco medianamente profundo, verificando a los 80 cm la presencia de un horizonte arcillo/gravilloso de difícil penetración con la pala. En el lugar destinado a los ensayos se tomaron muestras compuestas de por lo menos cinco submuestras, una en el sector destinado al ensayo de forrajeras y otra al ensayo de forestales, a intervalos regulares de profundidad de 20 cm, para realizar una caracterización del suelo expeditiva.

En las muestras superficiales se analizaron parámetros físicos y químicos, mientras que en profundidad solo se realizaron análisis de constantes hídricas para tener una aproximación a la capacidad de retención hídrica del suelo.



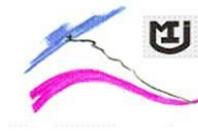
Tabla 5. Determinación de variables edáficas en los sectores del ensayo

Sector de ensayo	Forrajeras			Forestación		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
Prof. en cm	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
pH agua (1:2,5)	8,33			8,36		
Conductividad eléctrica (1:2,5) (dS/m)	0,1			0,04		
% Materia orgánica	0,50			0,42		
% Nitrógeno total	0,04			0,02		
Rel C/N	7			11		
Fósforo disponible (Olsen)	2,19			5,44		
Capacidad de Campo	9,1	9,6	9,6	8,6	9,4	14,0
Punto de Marchitez Permanente	5,6	5,9	6,1	5,5	5,9	6,3

De los datos se desprende que ambos sectores de ensayo tenían originalmente características de suelos muy semejantes. La reacción del suelo es moderadamente alcalina y la conductividad eléctrica baja. Son suelos muy pobremente provistos de materia orgánica y en consecuencia de nitrógeno, pero se observó una relación C/N acorde a lo esperado en suelos minerales. Los niveles de fósforo disponibles son también muy bajos.

La capacidad de retener agua de los suelos del ensayo (CC-PMP) es también muy baja, inferior al 5%, compatible con la observación realizada a campo de las texturas arenosas. Sólo se observaron valores algo mayores en las muestras en profundidad, probablemente por la aparición de material más arcilloso. En estos suelos es esperable observar un drenaje rápido del agua al menos en los primeros 80 cm.

En forma complementaria a este muestreo y en carácter exploratorio se realizó además una toma de muestras en distintos puntos del sector del predio en donde se encuentra instalado el pequeño macizo forestal que está siendo regado con el agua de reúso desde el año 2013. Si bien tanto el diseño de la plantación como el muestreo no tienen representatividad estadística, se presenta la



información recolectada ya que resultó de utilidad para planificar los diseños, los muestreos y los parámetros a considerar en los ensayos instalados.

La plantación se riega por canales que conducen el agua por la hilera y derivan la misma a los hoyos alrededor de cada árbol. Por esta razón, se tomaron muestras compuestas de los primeros 15 cm de suelo en las siguientes situaciones: testigo sin riego, borde del canal de riego, entre líneas de riego, en el hoyo de plantación seco y en el hoyo de plantación húmedo. Los resultados obtenidos se detallan en las tablas a continuación.

Tabla 6. Determinación de variables edáficas en el sitio donde se ubica la forestación implantada en el año 2013 y regada con efluente cloacal tratado.

Muestra	Testigo sin riego	Borde Zanja riego	Hoyo de plantación seco	Hoyo de plantación húmedo	Entre líneas de riego
pH en pasta	8,12	7,64	7,19	7,32	7,00
Conductividad eléctrica (extracto) dS/m	0,44	2,27	6,88	3,22	3,79
% Materia Orgánica	0,41	0,52	0,51	0,92	0,76
% Nitrógeno Total	0,04	0,04	0,04	0,07	0,10
Rel. C/N	5	7	7	8	5
Fósforo disponible (Olsen) mg/kg	6,28	9,62	14,94	23,15	28,77
Capacidad de Intercambio catiónico me/100g de suelo	13,91	13,22	13,04	13,65	13,52
Sodio me/100g s	0,22	0,48	3,17	1,24	1,26
Potasio me/100g s	1,26	1,62	1,15	1,17	0,72
Calcio me/100g	11,30	10,05	8,35	8,83	11,50
Magnesio me/100g s	2,08	2,00	3,58	3,38	2,50
Porcentaje de Sodio intercambiable (PSI)	1,3	2,1	13,9	5,2	4,3
Capacidad de Campo (%)	28,6	10,2	14,7	10,2	27,9
Punto de Marchitez Permanente (%)	6,4	6,5	6,7	6,8	14,5
Granulometría					
% Arcilla	4,8	5,3	5,5	5,4	4,3
% Limo	4,9	10,1	8,2	6,6	14,1
% Arenas	86,9	80,9	82,3	83,7	79,0



COAySP

Clase textural	Arenoso/ Areno Franco	Arenoso Franco	Arenoso Franco	Arenoso Franco	Franco arenoso
-----------------------	-----------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Se observaron cambios respecto del testigo en muchas de las variables analizadas. Llamaron la atención en particular el descenso de pH en más de medio punto y el aumento de la conductividad eléctrica, que se multiplica como mínimo por cuatro. El aumento de la conductividad se asocia en particular con el aumento de sodio y consecuentemente el PSI. Se observaron también tendencias a aumentos en la materia orgánica y en la concentración de nutrientes pero con tendencias y magnitudes no tan significativas como en los como los parámetros anteriores. También se observaron cambios en la textura y retención de agua, probablemente por la acumulación de sedimentos, aunque las tendencias no son tan claras en el sentido ni en magnitud.

ENSAYO EXPERIMENTAL DE REUTILIZACIÓN DE LOS EFLUENTES TRATADOS

Como parte del Plan de trabajos definido al momento de la firma del Convenio de Cooperación Técnica, y con el objetivo de probar prototipos de reuso y sus impactos en el ambiente, a principios de 2016 se instaló dentro del predio de la Planta de tratamiento de líquidos cloacales de Jacobacci un ensayo de reutilización de aguas residuales tratadas para la producción de forraje y material leñoso (Figura 12).



Figura 12. En el recuadro el área de implantación de los ensayos

En el ensayo se compara la aplicación de agua de perforación (fuente de agua en la región) y agua cloacal tratada en forraje (alfalfa y campo natural) y en biomasa leñosa (olivillo y sauce), con el objetivo de evaluar el resultado de ambos tratamientos en la productividad y en el impacto sobre variables físico químicas del suelo. Se considera que la forma de evaluar el impacto de la aplicación de agua residual tratada es comparándola con un riego convencional similar. Se evalúa también el impacto de ambas prácticas respecto de la condición original del suelo.

Selección de los cultivos.

La selección de los cultivos a ensayar se realizó en función de múltiples factores. En primer lugar, es necesario tener en cuenta que la región de la Meseta Central en la que se encuentra la localidad de Ing. Jacobacci presenta características climáticas restrictivas para la implantación y diversificación de cultivos a campo.

Sin considerar las condiciones de aridez naturales, ya que se plantea la reutilización de efluentes tratados para riego, las bajas temperaturas invernales, la ausencia de un periodo libre de heladas, la constancia de vientos fuertes y desecantes y la escasa fertilidad de los suelos, son limitantes importantes al momento de evaluar la posibilidad de realizar cultivos con éxito.



Algunas premisas consideradas al momento de seleccionar las especies a evaluar en el ensayo de reutilización del efluente fueron:

- La adaptabilidad de las especies seleccionadas a las características ambientales (climáticas y edafológicas) del sitio.
- El requerimiento hídrico, dado que se pretende aprovechar el efluente cloacal tratado para su reutilización en riego.
- La posibilidad de su aprovechamiento económico en la generación de bienes (alimentos para engorde animal, leña, postes, madera para aserrado, madera para energía) y/o servicios ambientales (mejoramiento de fertilidad de suelos, control de erosión, protección contra vientos, sombra) y que tengan que ver con la realidad socio-económica, tecnológica y productiva de la zona.

Además se tomaron en cuenta experiencias exitosas en la zona, durante los últimos años, de implantación de pequeños montes forestales con el propósito de reparo y provisión de leña (Izquierdo et al, 2009).

También se consideró el incremento de la demanda de forraje en la región, para suplemento de alimentación bovina y ovina, práctica que se adoptó como consecuencia de la crisis generada por la erupción del volcán Puyehue en el año 2012.

En función de lo señalado se seleccionaron tres cultivos:

- *Medicago sativa* "alfalfa"
- *Eleagnus angustifolia* "olivillo u olivo de Bohemia"
- *Salix sp.* "sauce"

Se incluyó como cuarto "cultivo" la opción del riego del campo natural, como la opción tecnológicamente más sencilla y de baja inversión para la utilización del efluente tratado.

En la determinación de las especies forestales se consultó a expertos locales, definiendo probar dos especies de características contrastantes, el olivillo como una especie rústica, ya probada con éxito en términos de implantación y crecimiento en



la zona y el sauce como una especie de altos requerimientos de humedad y alto potencial de producción de biomasa, que aún no había sido ensayado en la zona.

La alfalfa por su parte se cultiva como forraje en muchos países del mundo, principalmente en aquellos de clima templado. La Argentina con más de 5,5 millones de hectáreas cultivadas en la actualidad es uno de los principales productores en el mundo (Basigalupo,D). En la Provincia de Río Negro la superficie cultivada con alfalfa pura se estima en 12 – 13 mil hectáreas (E.E.A Valle Inferior, INTA).

La difusión del cultivo de alfalfa se apoya en sus altos rendimientos de materia seca (MS) Ton /ha, su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (suelo, clima y manejo). Por otro lado, su capacidad para la fijación del Nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con *Rhizobium meliloti* la convierten también en un importante componente de la sustentabilidad de los sistemas productivos. Puede ser aprovechada por el ganado como forraje luego de procesos de conservación en húmedo (ensilado o henificado), o en seco (fardos, rollos) o como pastoreo directo. Para mantener altas producciones de forraje, la especie requiere de una apreciable cantidad de humedad. Algunos autores (Donovan, 1983) han estimado que para producir 1 tn/ha de MS en zonas semiáridas se necesitan 83 mm de agua. Heichel (1983) analizando información de diversas condiciones climáticas, concluyó en que como promedio general se requieren entre 56 y 73 mm de agua para obtener 1 tn/ha de MS.

El Olivillo es un árbol inerme o espinoso, de 2 – 5 m de altura, aunque algunos ejemplares llegan a superar los 20 m, su copa es redondeada o alargada más o menos irregular, muy ramificado, con hojas oblongo – lanceoladas, caedizas, discolor, verde claro en la cara superior, blanco plateadas en la inferior, papiráceas de 5 – 8 cm de largo. No es exigente en cuanto a requerimiento de suelos, soportando aquellos que son pobres en fertilidad, aunque prefiere suelos sueltos, profundos y bien drenados. Es resistente a ambientes de tipo marítimo, adaptándose a suelos salinos. Tampoco es exigente en disponibilidad de agua. Es resistente a temperaturas extremas, bajas y altas y crece en exposición a sol pleno como en condiciones sombrías.



Su madera es considerada de mala calidad para la industria y por lo tanto sin valor comercial, únicamente utilizada para leña. Una reciente serie de investigaciones ha determinado que representa una alternativa en la dieta bovina en épocas de sequía (Fernandez, O; Klich, G)

El sauce (*Salix*) es de un género compuesto por más de 400 especies (Mabberley, D.J 1997) de árboles y arbustos caducifolios, originarios de zonas frías, templadas y de tierras húmedas del hemisferio norte, que junto con el género *Populus* "álamos" forman la familia de las salicáceas.

En nuestro país, la única especie nativa, ampliamente difundida desde el Norte hasta el paralelo 45° la especie *Salix humboldtiana* "sauce criollo o sauce colorado" que crece a orillas de ríos y arroyos y casi no se usa con fines madereros. Existen otras especies que han sido introducidas y naturalizadas, teniendo actualmente una amplia difusión en forma espontánea o cultivada.

Las salicáceas en general, tanto del género *Salix*, como *Populus*, se caracterizan por su avidez por la luz solar y sus altos requerimientos de agua.

Los sauces se caracterizan por su gran adaptabilidad a una gama de condiciones ecológicas diversas. Pueden crecer en suelos húmedos y hasta inundables ya que soportan la asfixia radicular, pero tienen baja tolerancia a condiciones de suelos salinos y/o sódicos.

La madera de sauce se aprovecha para pasta para papel y tableros de partículas en la industria del "triturado", leña, postes, varillas, material de cestería y mueblería, aunque no tiene tanta aptitud industrial para aserrado y debobinado como las especies y clones cultivados de álamo. También se valora su uso en sistemas silvo pastoriles, aprovechamiento energético y en servicios ambientales como la fitorremediación y control de la erosión

Diseño experimental

Tanto para el ensayo sobre forrajeras (alfalfa; campo natural) como para forestales (olivillo; sauces) y dado que la aplicación de distintos tipos de agua implica una infraestructura asociada para la distribución de la misma, se definió un diseño experimental de parcelas divididas donde el tipo de agua utilizada para riego



(efluente cloacal tratado, agua de perforación) es el factor principal mientras que dentro de las parcelas se aleatorizaron los tratamientos de acuerdo al tipo de vegetación.

Definición de la superficie del ensayo.

Luego de consultas realizadas a expertos y consultas bibliográficas se definió el tamaño mínimo de parcela para las forrajeras en 2 m x 3 m con 3 repeticiones para cada tratamiento de agua de riego de modo que la superficie total de parcelas del ensayo de forrajeras en terreno es de 72 m².

En el ensayo sobre forestales se aleatorizaron dentro del tipo de agua de riego, los tratamientos olivillo y sauce en parcelas de 24/25 plantas plantadas en 3 hileras con un marco de plantación de 2 m x 2 m, de modo que la superficie total del ensayo forestal en terreno es de aproximadamente 960 m².

Definición de la dotación de riego

El objetivo del trabajo, a diferencia de un riego común, es disponer la mayor cantidad de efluente cloacal tratado posible siempre y cuando el suelo pueda eliminar los excesos rápidamente (favorecido por el buen drenaje) y no se produzcan encharcamientos negativos para las plantas.

Por esta razón, el diseño de la demanda hídrica de la alfalfa se realizó en función del mes de máxima demanda con datos climáticos locales para ambos cultivos y se planificó operar el sistema con esa dotación de riego durante toda la temporada de crecimiento. De acuerdo a la temperatura media del mes de enero (15,1°C), en el que se estima existe la máxima demanda de la vegetación, se estimó por Blaney y Criddle una evapotranspiración potencial diaria media de 4,5 mm y considerando un kc de 1,2 (Allen *et al*, 1998), una evapotranspiración potencial del cultivo de 5,5 cm. Considerando que el sistema de riego por superficie es ineficiente y como objetivo disponer la mayor cantidad de agua posible, se estimó aplicar una lámina de aproximadamente 10 mm diarios en cada parcela. En volumen esto implica un requerimiento de agua de alrededor de 360 l por cada riego.

Con respecto a las especies forestales, las experiencias locales (Izquierdo *et al* 2009) recomiendan una dotación de riego para las especies leñosas de 3 l/árbol/



día. Estas recomendaciones son con el objetivo de sostener un crecimiento adecuado con un mínimo consumo de agua, por lo que utilizando esta referencia se realizó un diseño estimando un consumo de 4 l/árbol/día. Considerando un volumen extra para contemplar las ineficiencias del sistema de riego, esto implicaba disponer de alrededor de 0.750 m³ de cada tipo de agua por riego (según el cálculo, 150 árboles con agua de perforación x 4 litros por árbol= 600 litros más 150 l por las probables ineficiencias).

En el año 2019, mediante el trabajo de un estudiante del último año del CET n° 26 de la localidad, Natanael Edwards, que realizó en el marco del convenio su práctica profesionalizante, se realizó a lo largo de tres meses una verificación del funcionamiento de este sistema. Para el ensayo de forrajeras se comprobó que el agua efectivamente aplicada se encontraba en el rango esperado de acuerdo a lo que se observa en la Figura 5. Resultados similares se observaron el ensayo con especies forestales.

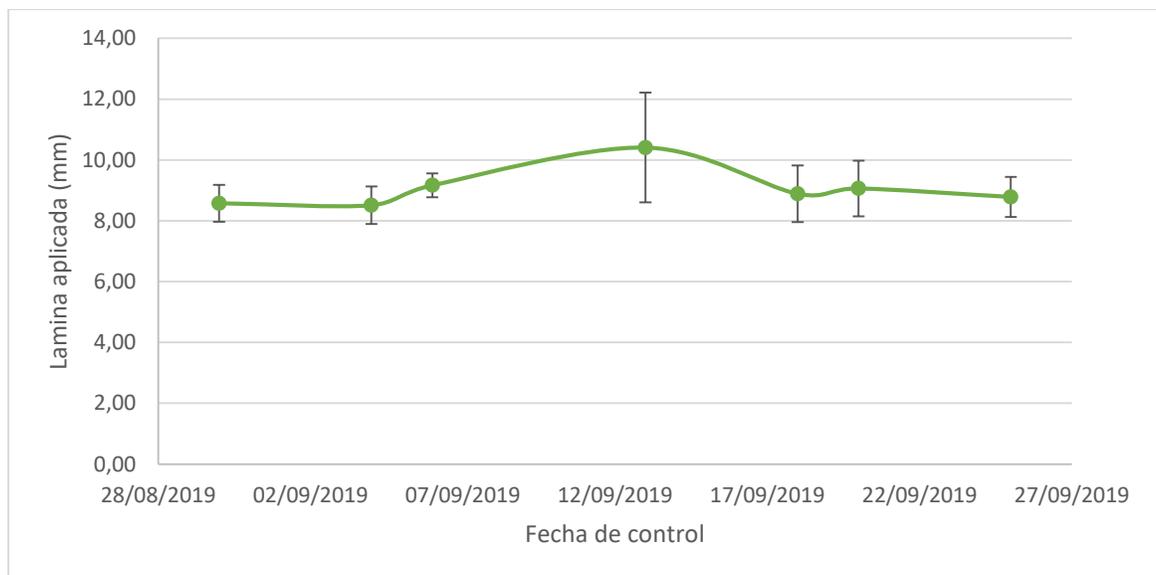
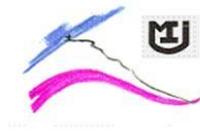


Figura 13. Lamina aplicada medida a campo ensayo forrajeras

Diseño de los sistemas de almacenamiento y distribución de agua de riego.

Dado que el sitio del ensayo no cuenta con servicio eléctrico, y que además se buscaba diseñar un sistema de riego replicable en otras plantas que no cuentan



con él, se diseñó una instalación sin presurización, usando la carga hidráulica, y automatizado mediante controladores a batería.

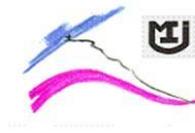
Para almacenar el agua fue necesario instalar dos tanques intermedios de 2000 L cada uno, uno para cada tipo de agua a utilizar en el ensayo. El dimensionamiento de los mismos se realizó en función de la posibilidad de almacenar en los mismos la suficiente cantidad de agua como para cubrir tanto la demanda de ambos ensayos, como la posibilidad de contar con la mayor carga hidráulica posible para asegurar una adecuada distribución del agua. Además, para mejorar este último punto, los tanques se instalaron sobre una plataforma de unos 30 cm (ver foto).



Figura 14 Tanques reservorios de agua de perforación y agua tratada

Para la protección de los tanques y la infraestructura de automatización y distribución se construyó una casilla de protección de todo el cabezal del sistema de riego.

En el diseño de la planta de tratamiento como ya se señaló, el agua tratada es conducida a través de una canería de PVC desde una estación de bombeo hasta un punto de disposición que se encuentra en el extremo S.E del predio donde se utiliza en parte para regar una forestación de modo que para el llenado del tanque



se construyó una derivación que conduce toda el agua tratada al mismo y un rebalse, que devuelve el excedente a la cañería principal.

Para la provisión del agua de pozo fue necesario instalar una tubería de P.E de 2" enterrada desde la perforación de bombeo al tanque de almacenamiento, de alrededor de 300 m.

Distribución y aplicación en las unidades de riego.

Para el ensayo de forrajeras se seleccionó un sistema de riego por melgas de tamaño equivalente al de la parcela experimental (6 m²). El agua se conduce desde los tanques por tubería de PE de 2" hasta la cabecera de la unidad de riego donde se colocaron tres picos regulables por cada una de ellas, distanciados unos 50 cm unos de otros (Figura 16).

En el ensayo de especies forestales el agua se distribuye desde los tanques hasta cada unidad de riego con tubería de PE de 2", de la que se derivan tuberías de PE de ½ " perforada con un orificio realizado con mecha inicialmente de 2 mm, un orificio por árbol. Los orificios se cubrieron con un trozo de manguera de media, cortado longitudinalmente, de modo de reducir la presión de salida del agua y permitir la distribución en forma de gotas.

Automatización

A la salida de cada tanque se instaló una llave de corte manual y una T que deriva el agua a dos tuberías. Sobre cada tubería se instaló una electroválvula de 1" (EV) que controla la entrega de agua de cada tipo (de pozo y tratada), a cada uno de los ensayos. Para el manejo del riego se instaló sobre las EV de cada tanque un Programador Riego Hunter Node a batería. La selección de las solenoides se realizó en función de la escasa presión del sistema, requiriendo un tipo de solenoides especiales (RPE EV Serie 3 para baja presión) para esa condición de trabajo. El correcto funcionamiento del sistema requirió la constante supervisión del personal de la planta para verificar su operatividad y realizar la limpieza periódica, en especial en el tanque de agua tratada.



Figura 15 Automatización con Programador, electroválvulas y solenoides para baja presión

Tiempo de riego

Para definir los tiempos de riego necesarios para satisfacer las demandas calculadas, una vez finalizada la instalación del sistema se verificó el caudal erogado en cada tipo de distribución. En función de dicho caudal, la lámina calculada y la superficie afectada por cada uno se calculó el tiempo de riego para cada sistema. En el caso del agua tratada desde el inicio del funcionamiento del sistema se verificó el taponamiento de los orificios, por lo que en ese tratamiento los orificios se repasaron con una mecha de 4 mm retirando la manguera cortada que controlaba la salida de agua. Se volvieron a ensayar los caudales erogados a la nueva condición de funcionamiento.

Instalación de las parcelas

En el caso del ensayo de forrajeras, las parcelas se delimitaron con bordos y se sistematizaron a pendiente longitudinal 0. Los tratamientos “campo natural” y “alfalfa” se distribuyeron aleatoriamente en cada sector de tipo de agua.



El tratamiento de campo natural consistió en la remoción de la vegetación natural para la sistematización del terreno, permitiendo la proliferación de la vegetación espontánea



Figura 16: Instalación de las mangueras y válvulas regulables de riego en el ensayo de forrajes

En las parcelas de alfalfa se sembró al voleo a razón de X g por parcela, la variedad Picasso 617 (grupo 6) recomendada por expertos regionales en el cultivo (Becker com.pers.) que fue provista por el INTA Bariloche. Esta es una variedad sintética desarrollada a partir de germoplasma élite nacional y extranjero (norte americano y australiano), seleccionada por su alta producción de forraje y persistencia, vigor de las plantas al cabo de varios años de aprovechamiento, resistencia a enfermedades de corona, raíz y pulgones y recomendada por su buen rendimiento en ensayos en la región.



Figura 17 Parcelas forrajeras luego de una temporada de crecimiento

Para el ensayo de forestales, se utilizaron en la plantación 150 ejemplares de olivillo a raíz desnuda, provistos por el Vivero del Ente de la Región Sur, como parte de un Convenio suscrito con la Cooperativa de Aguas y Servicios Públicos de Ingeniero Jacobacci.

Además se implantaron 150 barbados de sauce del clon 524/43 del híbrido *Salix matsudana* x *Salix alba*, provistos por el establecimiento "Campo El Laberinto" ubicado en la localidad de General Conesa. De este último se contó con material R3/T2 y R3/T1 libre de ramas laterales y con un corte apical a una altura no mayor a los 2,00 m. Se eligió este clon en base a ensayos realizados en distintas localidades de las Provincias de Chubut y Santa Cruz que mostraron su rápido crecimiento, resistencia a plagas (pulgones) y aptitud de uso en cortinas forestales.

La plantación se realizó a principios de septiembre de 2016, aleatorizando la distribución de las bloques (repeticiones estadísticas) de las dos especies en las parcelas apareadas por tipo de agua.



Figura 18 Parcelas forestales en el primer año de implantación y en diciembre 2020.

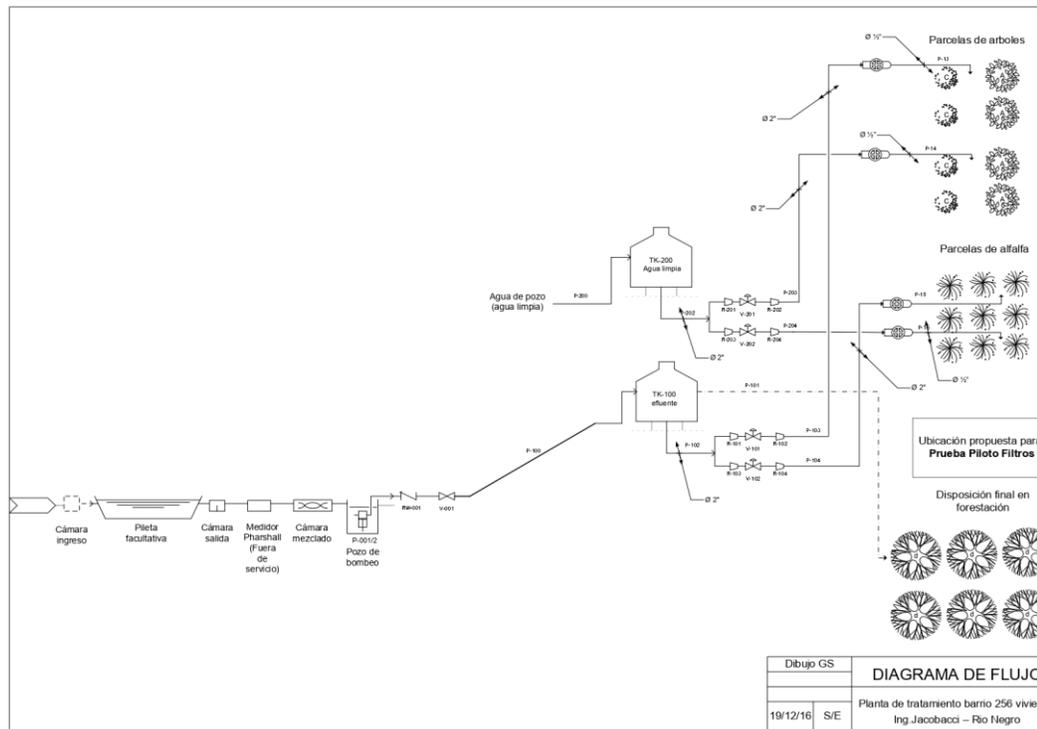


Figura 19 Diagrama de flujos completo del sistema de distribución de agua

Resultados y discusión

Resultados en producción de forrajes

Respecto al ensayo, en la producción de forraje se observó en alfalfa un rendimiento muy superior a lo esperado en la región, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos (promedio de 24 Ton/ha en tres cortes en el primer año y de casi 50 Ton/ha en cuatro cortes en el segundo). En el campo natural se obtuvieron rendimientos también muy buenos, pero con diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al agua aplicada, muy superiores en el agua tratada por el efecto de la adición de nutrientes.

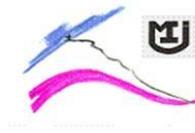


Tabla 7: Rendimientos medios de alfalfa en la primera y segunda temporada de cortes en kg MS/ha. Letras diferentes expresan diferencias significativas entre los dos tipos de agua ensayada

		1ª Temporada	2ª Temporada
Agua pozo	Alfalfa	23182,8 ± 1616,8	46243,7 ± 1623,8
	Campo Natural	6591,8 ± 1779,1 a	16766,3 ± 5274,5 a
Agua tratada	Alfalfa	23662,0 ± 4067,9	50579,3 ± 7935,9
	Campo Natural	17314,7 ± 2403,1 b	42216,0 ± 7530,1 b

Los contenidos de N son mayores en los tratamientos con AT por lo que se espera que la remoción de este nutriente sea mayor en estos últimos casos

Tabla 8: Contenido de Nitrógeno en hoja en los diferentes tratamientos

		% Nitrógeno en hoja	
		Media	Desvío
Alfalfa	Agua Pozo	2,99	0,28
	Agua tratada	3,46	0,33
Campo Natural	Agua Pozo	1,89	0,19
	Agua tratada	2,73	0,22

Resultados en producción de forestales

El resultado en la producción forestal implica primeramente definir a qué tipo de producción nos referimos, cual es el producto que se mide, dado que de las especies forestales podemos obtener diversos productos (madera rolliza para aserrado o triturado, leña, postes, subproductos, servicios ambientales).

En general y de manera simplificada podemos expresar la producción forestal a partir de la cantidad de biomasa producida durante un tiempo de crecimiento y expresada en las unidades metros cúbicos o toneladas por hectárea (m³ o tn /ha).

A los fines de este ensayo se medirán y se hará un seguimiento en el tiempo de variables que tienen que ver con el crecimiento de los árboles y que están correlacionadas con la producción de biomasa.

Por el momento las mediciones que se han hecho son supervivencia, diámetro y altura total, sin realizarse un análisis estadístico que permita inferir resultados para los diferentes tratamientos de agua de riego.

Los resultados de las mediciones se presentan a continuación:

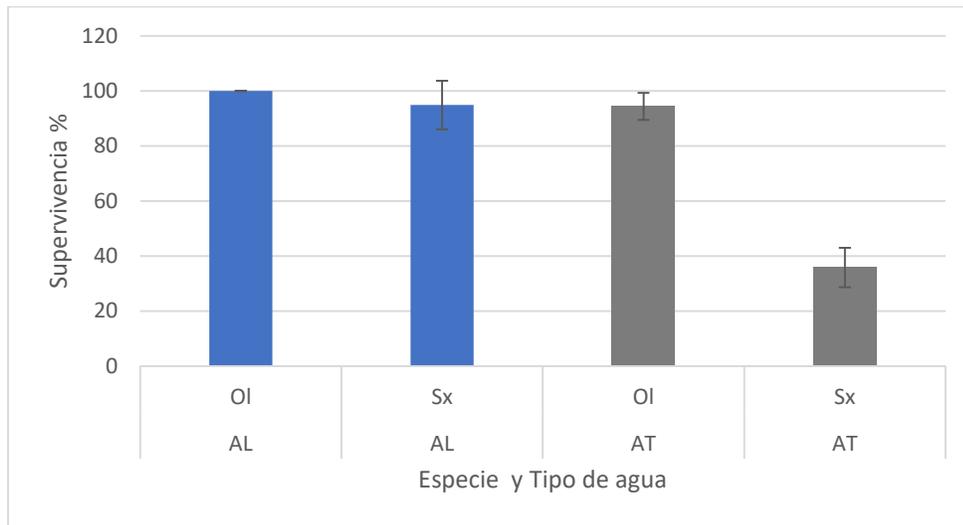


Figura 20. Porcentaje de supervivencia por tipo de agua y por especie a fines del otoño de 2018.

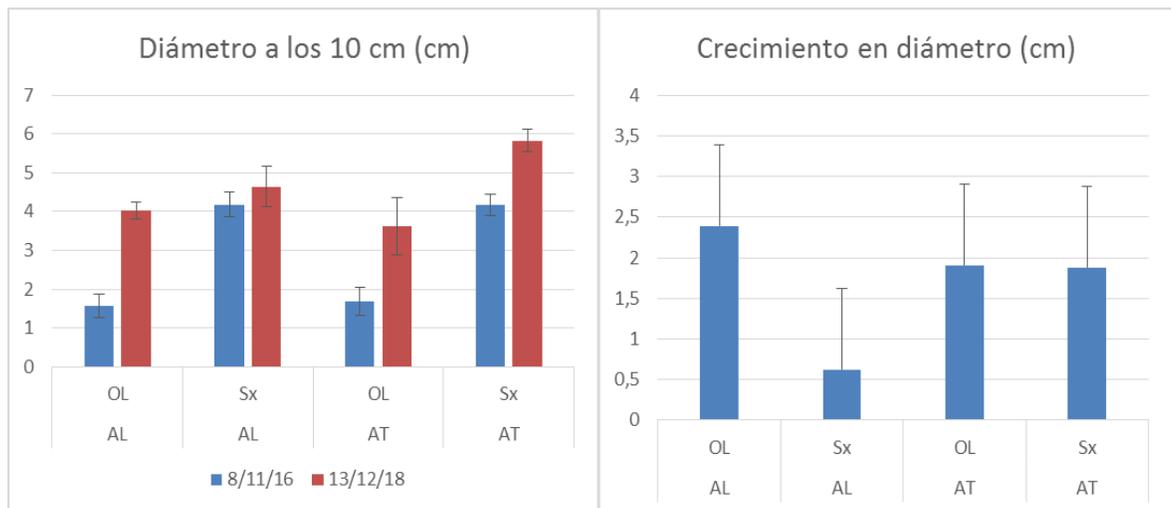


Figura 21 Diámetro a 10 cm de altura en primavera 2016 y 2018: datos promedios y diferencia de crecimiento

Se observó que el porcentaje de supervivencia fue la variable más afectada por el tipo de agua de riego, siendo levemente inferior en el olivillo regado con AT respecto del AL, pero marcadamente inferior en el caso del sauce. Los crecimientos en diámetro en el breve período evaluado, parecen ser favorecidos por la disponibilidad de nutrientes del agua tratada particularmente en una especie de altos requerimientos como el sauce.



Un dato importante a destacar es que el sistema de riego del ensayo forestal sufrió serios problemas de taponamiento de los puntos de aplicación de agua en el tratamiento con AT, como consecuencia de la decantación de las algas suspendidas, lo que generó una provisión discontinua del recurso. Esto parece haber afectado mucho más al sauce, una especie no tolerante al estrés hídrico.

Resultados en variables Físico – químicas del suelo

En el inicio del ensayo se tomaron muestras de suelo individuales por parcela y a tres profundidades hasta 80 cm, se repitió el muestreo con la misma metodología, a finales de otoño luego de cada temporada de riego. Se informan a continuación los resultados obtenidos en el ensayo de forrajeras luego de la tercera temporada de riego, comparándolos con los valores iniciales (Riat et al 2020).

En la Figura 22 se detallan los resultados obtenidos en ambos tipos de vegetación, para las variables pH y conductividad eléctrica del suelo.

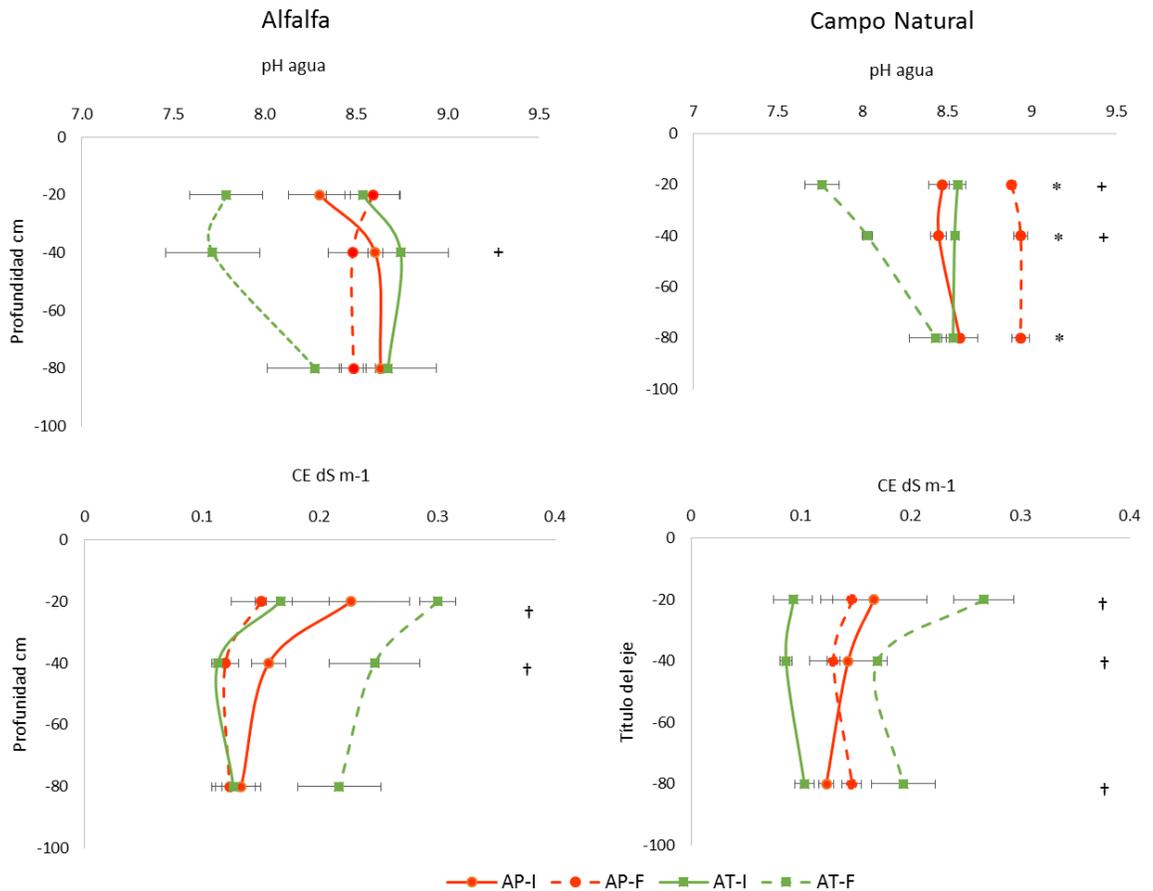


Figura 22. Variación del pH y la CE del suelo en alfalfa y campo natural, regados con agua tratada (AT) y Agua de perforación (AP) al inicio (I) y luego de tres temporadas de riego (F)

(+) Indica diferencias significativas para AT (*) Indica diferencias significativas para AP

El pH se redujo entre 0,5 y 1 punto, en ambos cultivos para los tratamientos con agua tratada siendo significativos solo en el caso del campo natural hasta los 40 cm y en alfalfa solo en el estrato 20-40 cm. En el caso de los tratamientos con agua de perforación los valores de pH se mantienen estables en alfalfa y aumentan significativamente entre 0,4 y 0,5 puntos, hasta los 80 cm el de campo natural. El descenso de pH puede deberse al aumento de la actividad biológica generada por la incorporación de carbono que genera subproductos acidificantes (Weil y Brady, 2016). Los cambios observados en los tratamientos con agua de perforación en el campo natural en cambio, evidencian la alteración de los equilibrios de sales que se



producen al irrigar un suelo prístino, y deben analizarse en conjunto con los cambios observados en las concentraciones de sales en el perfil.

Respecto de la variable conductividad eléctrica, en las parcelas con el agua de perforación no se observaron cambios significativos en los dos cultivos. En cambio, con el agua tratada se observó un aumento significativo de entre 0,1 y 0,2 dSm⁻¹ en ambos tratamientos hasta los 40 cm, y hasta los 80 cm en el campo natural. Analizando ambos parámetros en forma conjunta se puede inferir que, en el riego con agua de perforación, la carga de sales incorporada no ha sido lo suficientemente importante para modificar su CE significativamente. Sin embargo, la calidad de sales presentes en el agua probablemente enriquezca proporcionalmente en Sodio el suelo, lo que, como producto de la interacción suelo-agua genere un cambio en los equilibrios de cationes en el complejo de intercambio que deriven en aumentos de pH (Sánchez et al. 2016). Es necesario profundizar en estos aspectos con análisis complementarios tanto del suelo como del agua del ensayo. En el agua tratada, el aumento de la CE se podría deber a una combinación de factores: en principio su CE es levemente más alta que el agua de perforación, pero por otro lado junto con el agua también se incorporan Materia Orgánica (que genera actividad biológica) y, formas iónicas de nitrógeno que podrían contribuir a este incremento (Lemeillet et al, 2017).

Es importante destacar que, si bien en el RART se registran incrementos en estas dos variables, la magnitud de estos no sugiere riesgos en el mediano plazo. A pesar de ello, para planteos de largo plazo en zonas áridas, resultaría conveniente realizar balances de sales que permitan estimar la vida útil de los proyectos de reutilización.

En la Figura 23 se presentan los resultados obtenidos en Materia Orgánica y Nitrógeno total del suelo.

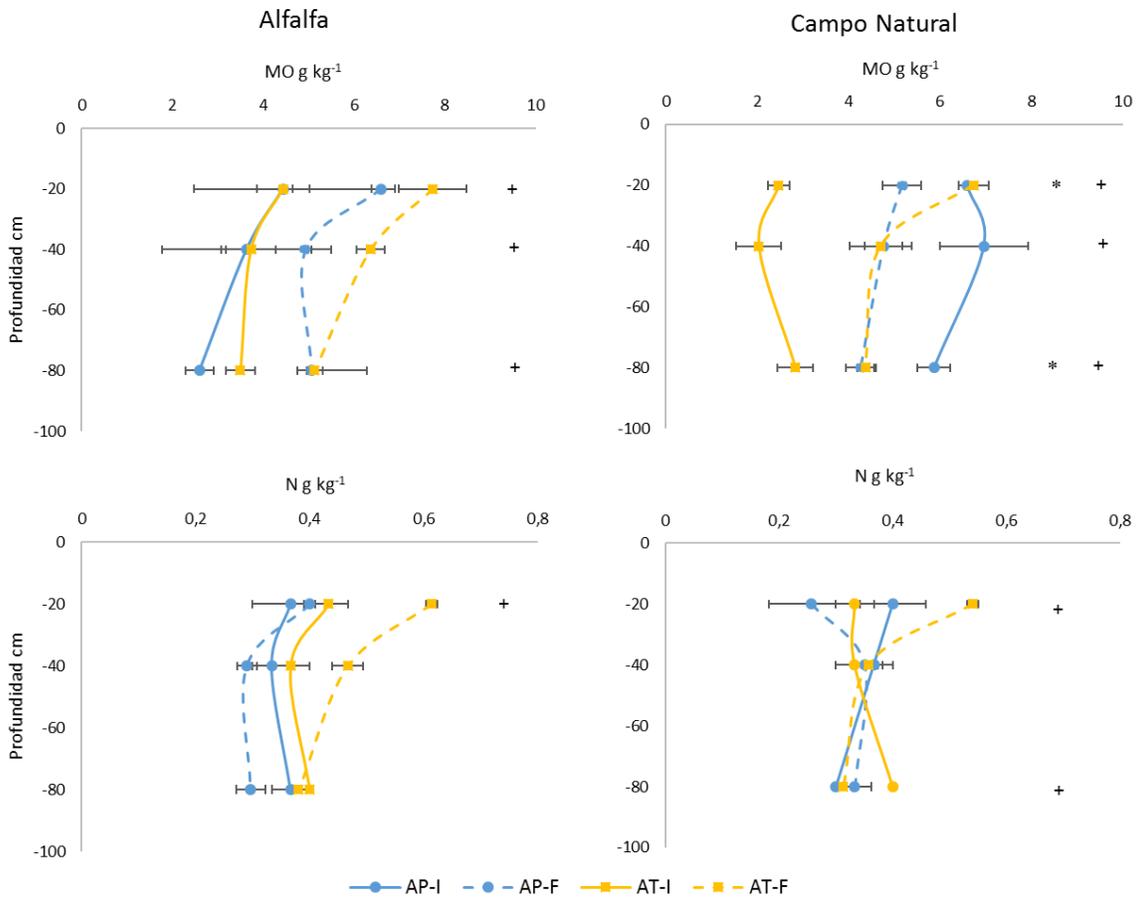


Figura 23. Variación de la MOS y el NT para alfalfa y campo natural, regados con agua tratada (AT) y Agua de perforación (AP) al inicio (I) y luego de tres temporadas de riego (F)

(†) Indica diferencias significativas para AT (*) Indica diferencias significativas para AP

En el cultivo de alfalfa regado con AT se observaron aumentos significativos del contenido de MOS en las tres profundidades de alrededor de $2\ g\ kg^{-1}$, duplicando los valores iniciales que eran muy bajos. En el campo natural se verificaron diferencias significativas en los dos tipos de agua, pero con efectos completamente opuestos: en el agua de perforación se observó una disminución de alrededor de $1\ g\ kg^{-1}$ en superficie y en el estrato más profundo, y en el agua tratada un incremento de entre 1 y $4\ g\ kg^{-1}$ en todas las profundidades. Los resultados obtenidos en los tratamientos con AP reflejan los procesos que se desencadenan al



regar un suelo prístino: al agregar agua sin el agregado de nutrientes se promueve la mineralización y por lo tanto una reducción de la MOS (Wail y Brady, 2016, Austin et al., 2004). En el caso de la alfalfa en los tratamientos con AP, como se trata de una especie fijadora de nitrógeno al incorporar este nutriente, generando un mayor aporte de biomasa, el balance entre el consumo y los aportes de Carbono resulta neutro y no se observan cambios significativos en el corto plazo (Hartwig U.y Sadowsky M.,2006). En resultados obtenidos con los tratamientos con agua tratada en cambio, se verifica que existe un aporte de carbono y nutrientes que generaron incrementos significativos de la MOS en todas las profundidades.

En el nitrógeno las tendencias no fueron tan marcadas y solo se verificó un aumento de la concentración del mismo en los tratamientos con agua tratada, hasta los 20 cm de profundidad en alfalfa, y en el campo natural en superficie y en profundidad. Es posible que la técnica de medición utilizada no sea lo suficientemente sensible para detectar cambios en niveles de nutriente tan bajos, pero sin embargo creemos que es valioso continuar midiendo este parámetro para monitorear su evolución en el largo plazo.

A los 9 meses del inicio del riego también se evaluaron otros parámetros como Nmineral (amonio+nitrato) y fósforo disponible. Los resultados se muestran en la figura 24.

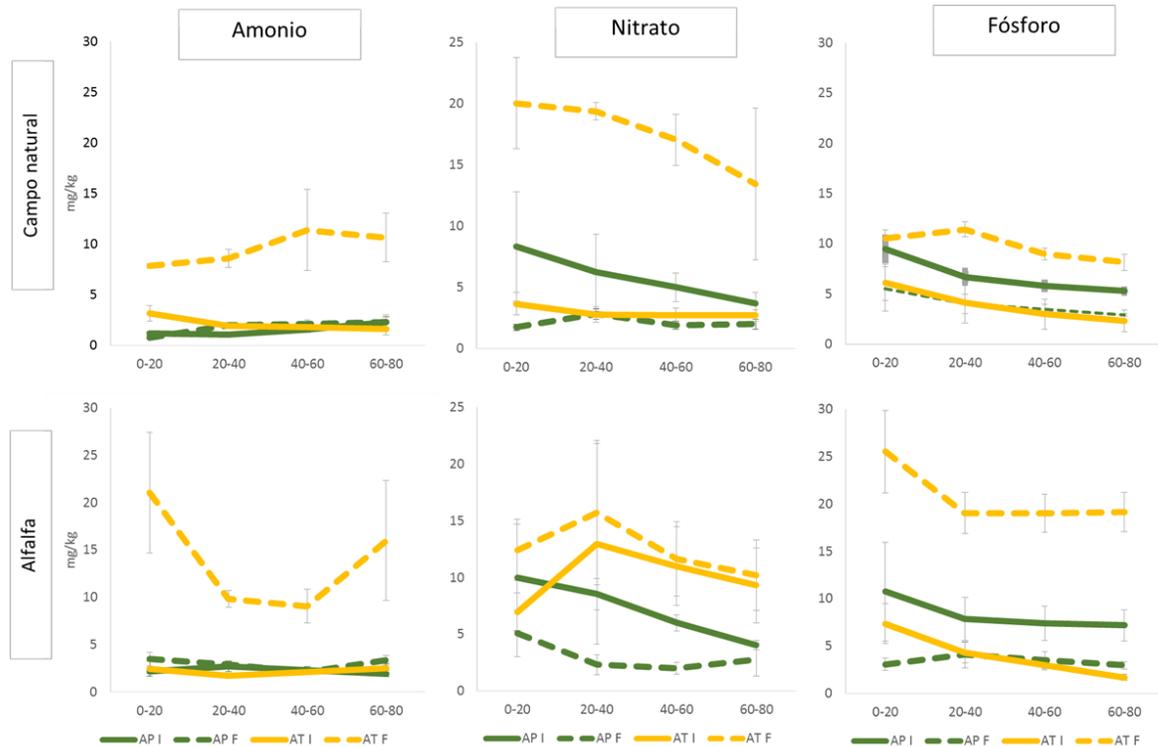


Figura 24: Amonio, nitrato y fósforo disponible en suelos regados con agua de pozo en verde y agua tratada en amarillo, en el muestreo inicial (línea llena) y luego de una temporada de riego (línea quebrada)

Los suelos regados con AP mostraron una reducción de NO_3^- (en promedio para todas las profundidades: -4.2 ± 2) y en P (-4.6 ± 3), y mostraron valores similares de NH_4^+ (0.6 ± 0.6), de acuerdo con la alta demanda de la vegetación en crecimiento. En las parcelas con AT, los contenidos diferenciales de nutrientes fueron en todos los casos positivos (NH_4^+ $10,1 \pm 4,4$; NO_3^- $8,8 \pm 5,2$; P $15,7 \pm 3,7$), y significativamente mayores que las parcelas con AP ($p < 0,05$), mostrando una carga de nutrientes creciente con este tratamiento. Se encontraron valores absolutos máximos en el tratamiento con AT: 12 NH_4^+ , 30 NO_3^- y 34 P mg / kg.

Si bien los valores máximos observados aún no representan riesgos ambientales, se evidenció una clara tendencia a una carga de nutrientes del suelo en los tratamientos con riego AT. Estos experimentos proporcionarán la información necesaria para desarrollar un manejo preciso de cultivos y agua que busque transformar esta carga de nutrientes en producción de materia seca. De todos



modos, estos datos muestran que también se necesita un seguimiento riguroso de los impactos en el suelo.

4. OTRAS ACTIVIDADES VINCULADAS AL CONVENIO

ENSAYO DE SISTEMAS DE FILTRADO PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE TRATADO PARA SU USO EN RIEGO.

El agua residual tratada de las plantas de tratamiento de tipo laguna facultativa presenta una alta concentración de algas en suspensión. En el caso particular de los ensayos llevados adelante en el marco del convenio esta condición generó dificultades en el manejo de las electroválvulas, en los sistemas de conducción por cañerías y aplicación localizada, produciendo obstrucciones que dificultan la automatización.

Para buscar alternativas posibles que permitan resolver este inconveniente se realizó un ensayo con tres tipos de materiales filtrantes, con los que se esperaba obtener una remoción parcial de algas (Cardenas et al, 2002) sin impactar en la concentración de nutrientes disueltos, que interesa en el caso del riego, como fertilizante en la plantación.

Se probaron filtros con un diseño similar a un filtro anaeróbico de flujo inverso (FAFI), los que representan una alternativa posible para el afinamiento de efluentes de lagunas de estabilización, ya que potencialmente pueden remover nutrientes y algas (figura N° 17). Se realizaron pruebas a escala piloto alimentándolos con el agua residual proveniente de la descarga final de la laguna facultativa de la planta de tratamiento con tres tipos de materiales como medio filtrante:

- piedras de aproximadamente 2" de diámetro medio provenientes de la cantera Jacobacci.
- diatomeas de tamaño variable entre 4-15cm de diámetro.



- relleno para digestores tipo Biolam®.

Para el diseño de los filtros se consideraron las recomendaciones de diseño del documento de la EPA-625, "Process design manual for wastewater treatment for small communities".

Para el filtrado del agua residual tratada en el campo se llevó a cabo la construcción de tres filtros percoladores de diferentes materiales, en particular: grava de aproximadamente 1", diatomita de tamaño comercial y relleno para biodigestores tipo biolam. Para esto se instalaron tres tanques de 400 litros que fueron conectados a un recipiente principal donde se almacena el agua tratada proveniente de la laguna. En todos los casos, el agua ingresa por un conducto presente en la parte superior del tanque que transporta el agua hasta la parte inferior del mismo, de modo que el recorrido de filtrado del agua es ascendente. Una vez que el agua ha sido filtrada, esta es transportada por medio de mangueras desde la parte superior del tanque a una zona de almacenamiento transitoria. Por último, en la parte inferior del tanque se instaló una manguera extra para llevar a cabo la limpieza o purga del lecho filtrante. Cabe destacar que, debido a que las características de los materiales filtrantes utilizados varían, la construcción de ellos también varió. En particular, tanto en el caso de la diatomita como de la grava, resultó necesario colocar material de mayor tamaño de cada uno de ellos en la parte inferior del tanque hasta que el mismo ocupe la altura a la que se encuentra la manguera de purga. Posteriormente se colocó una malla de tejido hexagonal y, sobre ella, se colocó el material filtrante de menor tamaño. Esta característica constructiva no fue aplicable en el caso del biolam.



Figura 27: Materiales utilizados como filtros; a las izquierda la grava y a la derecha el relleno para biodigestores tipo biolam.

Para evaluar la eficiencia de remoción de diversos componentes presentes en el agua residual tratada, se realizaron una serie de análisis del agua tratada sin filtrar y del agua filtrada por cada tipo de material. Para esto se tomó una muestra del agua que se encuentra en el tanque principal donde se almacena el agua proveniente de la laguna. Posteriormente, de las mangueras que conducen el agua a una zona transitoria luego del filtrado, se tomó una muestra por cada tipo de material filtrante utilizado. Esta operación se repitió tres veces en diferentes horarios del día, para de este modo tener en cuenta la posible heterogeneidad en las características físicas, químicas y biológicas del agua residual tratada sin filtrar y filtrada. Las muestras fueron almacenadas en botellas de plástico de 1 litro y refrigeradas durante su transporte al laboratorio.

En cada una de estas muestras, se determinó el contenido inicial y final de sólidos suspendidos totales (SST), de sólidos totales (ST), de nutrientes de interés para el desarrollo de la vegetación, en particular nitrógeno (N) y fósforo (P) total, la demanda biológica de oxígeno (DBO), el pH y la conductividad. La especificación de las técnicas utilizadas en cada caso se detallan en la Tabla 9:

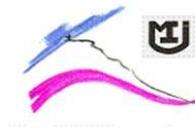


Tabla 9 ..Metodologías de análisis de efluentes utilizadas

Parámetro	Método de laboratorio	Fuente
Nitrógeno total	Kjeldahl	Baird <i>et al.</i> (2017)
Fósforo total	Colorimetría azul del ácido ascórbico	Adaptado de Sparks <i>et al.</i> (1996)
Demanda química de oxígeno	Colorimetría dicromato de potasio	Baird <i>et al.</i> (2017)
Sólidos totales	ST secados a 103-105°C	Adaptado de Baird <i>et al.</i> (2017)
Sólidos suspendidos totales	SST secados a 103-105°C	Adaptado de Baird <i>et al.</i> (2017)

Los resultados de los análisis se detallan en la Tabla 10. Para el análisis de los mismos se realizó una prueba estadística de análisis de variancia entre tratamientos y posteriormente un test de Tuckey de comparación de medias.

Tabla 10: resultados de las pruebas de filtrado

Parámetro		Muestra de agua residual tratada			
		Sin filtrar	Diatomita	Grava	Biolam
pH	Media	8,01	7,82	7,88	7,84
	Significancia	A	B	AB	B
	Error estándar	0,01	0,06	0,02	0,02
Conductividad (mS/s)	Media	1,78	1,78	1,78	1,79
	Significancia	A	A	A	A
	Error estándar	0,00	0,01	0,00	0,00
DQO (mgO ₂ /ml)	Media	635,85	477,56	536,68	504,32
	Significancia	A	A	A	A
	Error estándar	148,29	81,14	121,53	64,38
Fósforo total (mgP/l)	Media	4,56	4,42	5,05	5,09
	Significancia	A	A	A	A
	Error estándar	0,19	0,24	0,19	0,31

Nitrógeno total (mgN/ml)	Media	0,0053	0,0055	0,0053	0,0055
	Significancia	A	A	A	A
	Error estándar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Sólidos suspendidos (g)	Media	0,0065	0,0088	0,0143	0,0192
	Significancia	A	A	A	A
	Error estándar	0,0008	0,0014	0,0004	0,0031
Sólidos totales (g)	Media	0,0395	0,0420	0,0400	0,0382
	Significancia	AB	B	AB	A
	Error estándar	0,0004	0,0006	0,0008	0,0002

En los datos se observó que ninguno de los materiales filtrantes resultó eficaz para reducir los parámetros medidos, pero que dado que en la diatomea se observó una tendencia a la reducción del contenido de fósforo (citada también en la bibliografía) se realizaron dos muestreos más en los que se evaluó únicamente este parámetro. Los resultados se detallan en la Tabla 11

Tabla 11: Reducción de la concentración de fósforo en agua de diferentes muestreos

Muestreo	Parámetro (mgP/l)	Muestra		% disminución concentración de fósforo
		Sin filtrar	Diatomita	
17/12/2018	Media	7,17	6,15	14,23
	Error estándar	0,00	0,10	
15/02/2019	Media	6,03	5,55	7,96
	Error estándar	0,10	0,19	
22/05/1029	Media	4,56	4,42	3,00
	Error estándar	0,19	0,24	

Como se observó en este material potencial para reducir las concentraciones de P en el ART y esto puede resultar potencialmente interesante para el manejo de



este tipo de agua en riego a largo plazo, se realizó un ensayo del laboratorio en donde se probaron distintos tiempos de residencia para diseñar sistemas que optimicen esta aptitud.

En el anexo I se presenta información adicional sobre el ensayo de filtrado.

Proyecto de instalación de red freaticométrica.

Desde la puesta en marcha de la Planta de tratamiento de efluentes cloacales (año 2010) el destino final del mismo, previa reutilización para el riego de tres líneas de especies forestales ha sido el mallín de Nahuel Niyeu.

A partir del año 2016 el mismo no recibe descargas directas, debido a la conducción del líquido en el área circundante, a esto se le suma la implementación de las parcelas experimentales de alfalfa y las de sauces- olivillos.

Ante esta situación es importante establecer una red de monitoreo permanente para detectar la influencia en el mallín de las actividades que se realizan en sus inmediaciones.

El objetivo de la misma es monitorear en las distintas temporadas el nivel de la napa y cuantificar si hay modificaciones de los siguientes parámetros: pH, conductividad, DQO, N, P y determinación bacteriológica de Coliformes totales, Escherichiacoli y Enterococos.

El Proyecto de instalación de red freaticométrica implica:

Sobre el área de estudio se proyecta colocar 1 freaticómetro de control en el área de parcelas experimentales y 7 freaticómetros en área de mallín. En la Figura N° 28 se presenta proyecto de disposición y distribución de los mismos.



Figura 28. Disposición Proyecto red freaticométrica

Gestiones para la ampliación de la superficie destinada a cultivos bajo riego con efluentes tratados.

Si bien parte del efluente cloacal tratado es utilizado para riego, tanto en las líneas de árboles plantadas en el 2013, como en el ensayo experimental implementado en el año 2016, hay excedentes que siguen llegando a la parte topográficamente más deprimida de la parcela que ocupa la Planta de Tratamiento de Líquidos cloacales.

Por otra parte la Municipalidad de Ingeniero Jacobacci está llevando adelante obras que forman parte del Plan Director de Cloacas de la localidad para aumentar la cobertura del servicio, de modo que en los próximos años aumentará la cantidad de líquidos cloacales tratados en la Planta.

Ante esta situación y dada la existencia de una parcela de tierras del Fisco Provincial lindera al Este con la Planta de Tratamiento es que se iniciaron y concluyeron exitosamente, los trámites desde el Departamento Provincial de Aguas, ante la Dirección de Tierras de la Provincia de Río Negro para que esa parcela de

Denominación Catastral 22 – 1 - A - 051 – 02, pase a ser Dominio del Departamento de Aguas para ser anexada al predio de la Planta de Tratamiento de líquidos cloacales y se utilice la superficie que comprende de 4 ha 02 a 02 ca para cultivos regados con efluente cloacal tratado (Imagen 29).

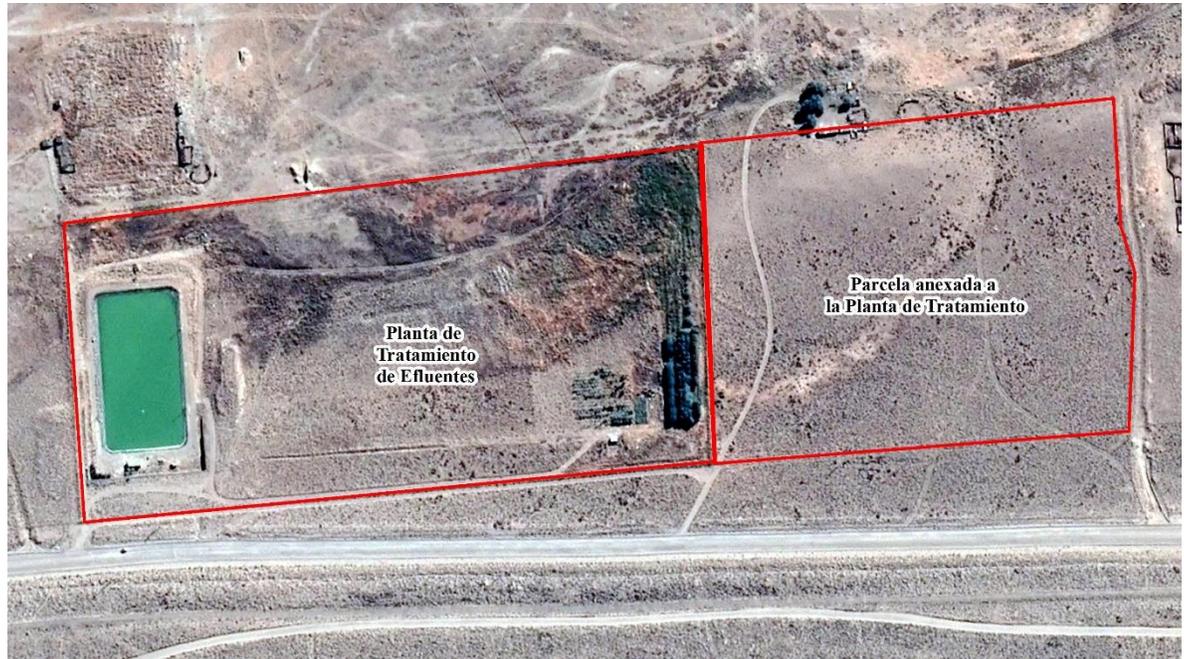


Figura 29 Planta de tratamiento y parcela anexada para reuso de efluente en riego

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

De la caracterización del área

Las características climáticas de la Región Sur representan un contexto altamente favorable para la reutilización de AT por la necesidad de usar eficientemente el recurso y por la inexistencia de otras fuentes alternativas de agua para una producción bajo riego. Por otro lado la producción tanto de forraje como de leña pueden ser un aporte significativo a la economía local.



La escasez de agua como recurso para la producción de biomasa en cualquiera de sus posibilidades está altamente supeditada al consumo humano. Esto exige que el uso de agua para riego en cualquiera de sus alternativas sea restringido. El ART representa una excelente oportunidad para la generación de biomasa con diferentes destinos.

De los talleres de sensibilización social:

El reuso es visto con cierta aprobación pero para actividades fuera del ámbito urbano y en productos que no sean utilizados directamente por el ser humano. Existen temores también en los usos por parte de animales (forraje). La comunicación e información responsable por parte de las instituciones involucradas es clave en el proceso de aceptación de la práctica,

Del funcionamiento de la planta:

Es importante la instalación de un caudalímetro a la salida de la misma para obtener datos locales de disponibilidad de agua. Es fundamental para dimensionar los proyectos de reuso.

De la aptitud de los suelos

Son suelos de alta permeabilidad, sin salinidad previa, aptos para el reuso.

Del ensayo experimental :

De las especies

El olivillo hasta el momento de este informe, mostró ser una especie rústica, de buen crecimiento bajo riego, y capaz de tolerar deficiencias del sistema de riego

El sauce presentó muchas dificultades para adaptarse a las deficiencias del sistema de riego, pero los individuos que sobrevivieron mostraron muy buena performance. Este permite suponer que ante una mejora del sistema de distribución y aplicación esta especie tendría excelentes desempeños.



Los cultivos forrajeros en cambio presentan excelentes producciones de biomasa. La alfalfa en particular responde muy bien al riego en general, y si bien los rendimientos son semejantes entre ambos tipos de agua, el contenido de nitrógeno en hoja es mayor en la del agua tratada. En los tratamientos de campo natural se observó una proliferación espontánea de gran cantidad de gramíneas en los tratamientos de AT lo que puede indicar que estas especies pueden aprovechar la abundancia de nutrientes en especial N.

De los sistemas de riego y filtrado.

Los Sistemas de riego por superficie son de fácil manejo con el AT pero requieren caudales concentrados y parcelas pequeñas. Esto representa un punto importante en el diseño de sistemas de riego para aguas tratadas. Asimismo se debe asegurar que el caudal aplicado y la lámina sea uniforme y adecuada para la capacidad de almacenamiento del suelo para evitar anegamientos y excedentes que puedan profundizarse en el perfil y perjudicar la calidad de las napas.

Los sistemas de riego por goteo han demostrado ser altamente eficientes en el aprovechamiento del agua en sistemas convencionales. Por el contrario en sistemas con uso de ART son difíciles de manejar. La presencia de algas unicelulares en suspensión que se asocian, formando films y películas obstruyen los sistemas de conducción y los orificios de aplicación. El uso de sistemas de filtrado convencionales para riego por goteo se ve dificultado por la necesidad de alta frecuencia de retro lavados y la baja eficiencia de estos.

En sistemas de aplicación sin presurizar como es el caso del ensayo presentado, el bajo caudal y presión de salida por el gotero, genera evaporación rápida de la fracción acuosa acelerando la acumulación de residuos en el orificio. Esto se combina con la alta presencia de arenas y su movilidad por el viento que acelera el proceso de taponamiento del gotero.

La posibilidad de generar dos sistemas de filtrado en serie realizando un filtrado grueso que elimine los films y colonias sumando un filtrado posterior con sistemas convencionales de filtros de arena de flujo inverso, representa una



posibilidad para solucionar este problema, pero, no ha sido probado en Jacobacci por la falta de infraestructura eléctrica en el sitio del ensayo.

De los impactos en el suelo:

No se han observado modificaciones importantes en las variables del suelo que indiquen un problema en el corto plazo. La CE ha mostrado valores en ascenso lo que indica un aumento de la cantidad de sales en el suelo producto de la aplicación del agua. El pH ha sufrido reducciones significativas en algunas situaciones, adjudicándole este cambio al aumento de la actividad biológica. La concentración de nutrientes solubles y su distribución en el perfil muestran leves incrementos mayormente en superficie.

Esto indica la necesidad de monitorear constantemente las variables edáficas más importantes, y la selección de cultivos que tengan gran capacidad de consumo de nutrientes, tanto por el rendimiento en biomasa como en la tasa de extracción de los mismos, y alta tolerancia a las condiciones de salinidad.

Bibliografía

Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper n° 56

Austin, A; L Yahdjian; J Stark; J Belnap; A Porporato; U Norton; D Ravetta & S Schaeffe. 2004. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid Ecosystems. *Oecología* (2004) 141: 221–235

Baird R. B., Eaton A. D. & E. W. Rice. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23° edición. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation.

Barrio; RA y DM Martin. 2012. Análisis de las limitantes climáticas sobre las potencialidades de desarrollo de la meseta sur de la provincia de Río Negro. El



viento y su interacción con las disponibilidades térmicas e hídricas. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV) (La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre)

Basigalup, D ed. 2017. El cultivo de alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA. 479 p.

Bustos, J.C. y V.C. Rochi, 1993.- Caracterización termopluviométrica de veinte estaciones meteorológicas de Río Negro y Neuquén. INTA EEA Bariloche, 43pp..

Cabrera, AL. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Soc.Argentina de Botánica XIV: 1-42

Cárdenas C., Perruolo T., Araujo K., Suher Y. 2002. Mejoramiento del Efluente de Lagunas a través de un Filtro Rocoso. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002

Donovan, T. J. and B. D. Meek. 1983. Alfalfa responses to irrigation treatment and environment. Agronomy Journal 75: 461-464

Fernandez, O; Klich, G)

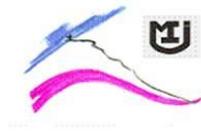
Godagnone R.E. y D. Bran eds. 2009. Inventario de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. Actualización. Ediciones INTA

Hartwig, U & Sadowsky, M. 2006. Biological Nitrogen Fixation: A Key Process for the Response of Grassland Ecosystems to Elevated Atmospheric [CO₂], in Ecological Studies, Vol.187. Nösberger J., Long S.P., Norby R.J., Stitt M., Hendrey G.R., Blum H. (Eds.) Managed Ecosystems and CO₂ Case Studies, Processes, and Perspectives © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006

Heichel, G. H. 1983. Alfalfa. In: I. D. Teare & M. M. Peet (ed) Crop Water Relations. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, pp. 127-155.

Izquierdo, F; Velasco, V y Nasiff, A. 2009. Montes leñeros y cortinas de reparo en la región sur de Río Negro. Ediciones INTA:

Lemeillet, F; C Sainato; H Malleville; L Carbó & A Herrero. 2017. Electrical conductivity of a soil treated with effluent from Livestock. Geoacta (Argentina) Vol 41, Issue 2, Pages 57-



León, R.J.C., D. Bran, M. Collantes, J.M. Paruelo y A. Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. 1998. *Ecología Austral*, 8: 125-144.

Mabberley, D. J: 1997. *The Plant-Book. A portable dictionary of the vascular plants.* ed. 2. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne. 858pp-

Riat M., M.V.Cremona, V.Velasco, C.Catenazzo, M.Sanchez, N. Espert. 2020. Algunos efectos del riego con agua residual tratada en suelos de Ingeniero Jacobacci (Río Negro)

Sánchez, R; L Dunel Guerra & M Scherger. 2016. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Ed INTA. 1a ed.

Soil Survey Staff. 2014. *Claves para la Taxonomía de Suelos.* 12ª Edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales

Soriano, A. 1956. Los distritos florísticos de la provincia Patagónica. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 10:323-347.

Sparks D. L., Page A. L., Helmke P. A., Loeppert R. H., Soltanpour P. N., Tabatabai M. A., Johnston C. T. & M. E. Sumner. (1996). *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods* . Soil Science of America. Madison, Wisconsin, USA.

Weil R & N Brady. 2016. *The Nature and Properties of Soils.* Fifteenth Edition. Ed.Pearson.1105p.



ANEXO I: Detalles ensayo de materiales filtrantes.

Caracterización diatomita

Se llevó a cabo la determinación de parámetros básicos de la diatomita utilizada en el ensayo de filtrado, específicamente, porcentaje de humedad, densidad aparente, densidad real (método del picnómetro tomado de Black *et al.* 1965) y porosidad. Para la humedad y las densidades aparente y real se utilizaron métodos gravimétricos. Mientras que la porosidad se obtuvo a partir de los valores obtenidos de densidad, siendo:

$$\text{Porosidad (\%)} = (1 - (\delta_{\text{aparente}} - \delta_{\text{real}})) * 100$$

Posteriormente, con el dato de la porosidad y el volumen que poseían los recipientes de los filtros construidos en el laboratorio, se determinó el volumen de poros presente en los mismos. Esto permitió determinar el volumen de líquido a filtrar para lograr un reemplazo de todo el líquido presente en el manto filtrante entre filtrados.

Ensayo de filtrado

Para la realización del ensayo se tuvo en cuenta que el funcionamiento de los filtros sea igual al llevado a cabo en el campo. Se aplicaron 3 tipos de tratamiento: una con agua desmineralizada, uno con una solución patrón de fósforo con una concentración de 4 mgP/l y el último con el agua residual tratada sin filtrar. El mismo contó de dos etapas:

1° etapa: limpieza de los filtros

El objetivo de esta etapa es eliminar la mayor proporción posible de polvo presente en la diatomita. Para lograr esto, se colocó agua en el filtro hasta que este estuvo totalmente lleno. Posteriormente se agregó un caudal constante de agua y se recogió el sobrenadante que fluía por la manguera superior del filtro en un recipiente de 2,5 litros (Foto 1). Una vez que el recipiente se encontró lleno, se descartó el agua. Esta operación se repitió 3 veces por cada filtro. Por último se

realizó una cuarta y última limpieza con agua desmineralizada. El líquido que quedó dentro del filtro se eliminó abriendo la manguera de purga del mismo.



Foto 1: Limpieza de los filtros y recolección del sobrenadante.

2° etapa: ensayo

En una primera instancia, se colocaron 1,5 litros del líquido a filtrar con un tiempo de contacto o residencia de 1 hora. Una vez cumplido el tiempo, se realizó un reemplazo con 2 litros, los cuales también tuvieron un tiempo de residencia de 1 hora. Por último, se realizó un reemplazo con 1,5 litros de líquido y se procedió con la toma de la muestra, para lo cual se descartaron los primeros 300 ml, se tomaron 200 ml de muestra y se descartó el sobrante.

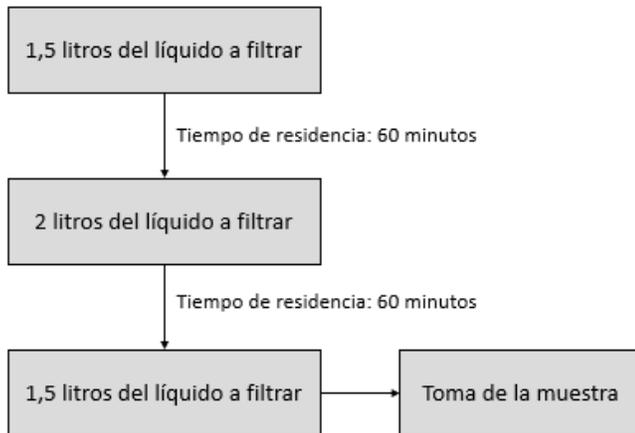


Imagen 5: Esquema del ensayo de filtrado número 1.

En una segunda instancia se tuvo en cuenta el tiempo de residencia del agua residual tratada en los filtros construidos en el campo. Para obtener esta información se determinó el caudal de salida de agua del filtro de diatomita y las dimensiones ocupadas por el lecho propiamente dicho en el recipiente de 400 l. Con esta información se calculó un tiempo de residencia del agua residual tratada de 32,27 minutos (Tabla 1).

Caudal (l/s)	0,24
Volumen (l)	464,75
Tiempo de residencia (min)	32,27

Tabla 2: Datos y cálculo del tiempo de residencia del agua residual tratada en los filtros del campo.

A partir de esta información se decidió realizar un segundo ensayo de filtrado en el que se aplique un tiempo de residencia similar al del campo y dos mayores, en particular 30, 60 y 120 minutos. De este modo, se colocó 1,5 litros del líquido a filtrar con un tiempo de contacto o residencia de 1 hora, esto con el fin de saturar el material. Posteriormente se realizaron reemplazos sucesivos con 1,5 litros, siendo los tiempos de residencia entre reemplazos de 30, 60 y 120 minutos. Una vez cumplidos cada uno de estos tiempos, se tomaron las muestras correspondientes, para lo cual se descartaron los primeros 350 ml del filtrado, se tomaron 200 ml de muestra y se descartó el sobrenadante.

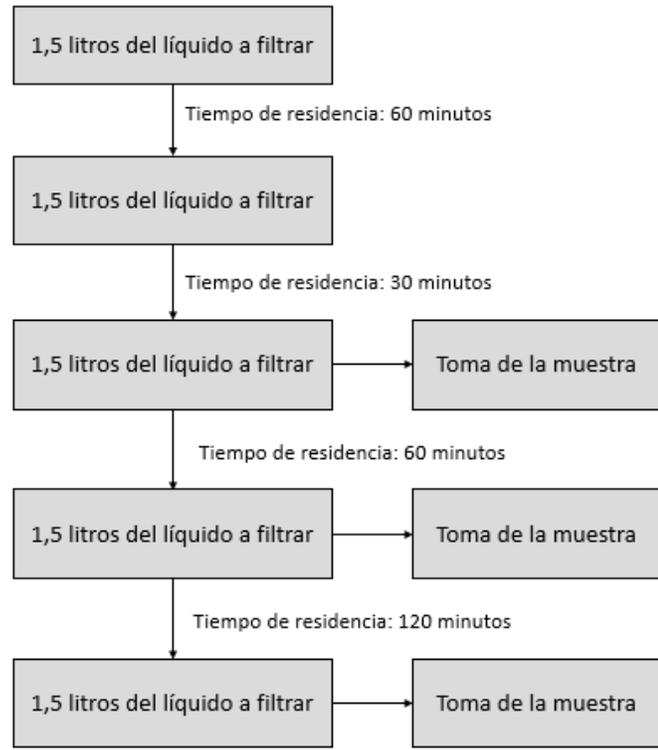


Imagen 6: Esquema del ensayo de filtrado número 2.

Finalmente se determinó la concentración de fósforo soluble en el agua desmineralizada, la solución patrón de fósforo y el agua residual tratada de forma previa y posterior al filtrado, mediante una colorimetría azul del ácido ascórbico adaptada de Sparks *et al.* (1996). A su vez, se consideró el posible efecto que podría ocasionar el color del agua residual tratada en la técnica de espectrofotometría UV-Visible. Para lo cual se determinó la absorbancia del agua residual sin filtrar teniendo en cuenta que la matriz sea la misma que la de las demás muestras, es decir, agua desmineralizada y ácido sulfúrico 0,5 M.