



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

3iA

Instituto de Investigación
e Ingeniería Ambiental

Proyecto Final Integrador

Tratamiento y reutilización de efluentes
líquidos domiciliarios de la Ciudad de
Rivadavia, Provincia de Mendoza

Autora:

MARÍA MERCEDES KURI

Legajo CYT-5413

Ingeniería Ambiental

Tutora:

ING. RUTH RODRIGUEZ

Fecha:

12 de julio de 2019

Resumen

En el presente trabajo se abordó la problemática que enfrenta la Ciudad de Rivadavia, Provincia de Mendoza, con respecto a la gestión de sus efluentes líquidos domiciliarios. La misma cuenta con una red cloacal que dirige los efluentes hacia el Establecimiento Depurador Rivadavia, el cual opera desde 1997. En este se lleva a cabo un tratamiento biológico de los efluentes, mediante lagunas de estabilización. Luego del tratamiento, los efluentes son dirigidos hacia las áreas de cultivo restringidas (ACREs) en las cuales se los reutiliza para irrigación de cultivos.

Debido al crecimiento de la población, la expansión de la red cloacal y una falta de mantenimiento de las instalaciones, el Establecimiento Depurador Rivadavia no se encuentra operando de manera eficiente desde hace ya varios años, siendo que se ve sobrepasado tanto en su capacidad hidráulica como de tratamiento. Esto implica un gran riesgo para el ambiente y para la salud humana.

Para dar solución a esto, se elaboró en primer lugar plan de riego que garantiza no solo el desarrollo eficiente de los cultivos elegidos sino que también asegura que la práctica se desarrolle de manera sustentable. Las especies a cultivar contempladas son la vid, el olivo y el álamo, los cuales se dan ampliamente en la región.

Teniendo en cuenta los lineamientos y recomendaciones que surgieron de la elaboración del plan de riego, se procedió a diseñar la ampliación y refuncionalización del Establecimiento Depurador Rivadavia. Se realizó un análisis de alternativas y posteriormente se elaboró la memoria descriptiva y de cálculo de la alternativa elegida. Esta incluye: una remodelación de la estación de bombeo existente; la incorporación de un sistema de rejillas, de un equipo desarenador-desengrasador y de dos sedimentadores primarios; la construcción de una nueva serie de lagunas de estabilización; la construcción de una cámara de cloración. También se contemplan las obras de limpieza y mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones existentes.

Por último se elaboró un estudio de impacto ambiental, en el cual se identifican y valoran los impactos ambientales generados a lo largo del desarrollo del proyecto.

Índice

Resumen	1
Introducción	5
1. Objetivo	6
2. Metodología	7
CAPÍTULO 1: Diagnóstico.....	8
1. Cobertura de servicios sanitarios y población a servir	8
1.1. Evolución de los servicios de agua potable y desagües cloacales	8
1.2. Población a servir y caudal a tratar	9
2. Situación actual del Establecimiento Depurador Rivadavia.....	11
2.1. Caracterización del efluente de entrada	11
2.2. Proceso de tratamiento de efluentes	12
2.3. Deficiencias y problemas operativos	14
3. El recurso hídrico y su gestión	15
3.1. Situación en la Provincia de Mendoza	15
3.2. La reutilización de efluentes líquidos	17
4. Conclusiones	20
CAPITULO 2: Estudios preliminares	21
1. Caracterización del área de influencia del proyecto	21
1.1 Clima.....	21
1.2 Hidrología	23
1.3 Geomorfología	26
1.4 Suelos	27
1.5 Fito y zoografía	28
1.6 Riesgos ambientales	29
1.6.1 Sismicidad.....	29
1.7 Organización del territorio	30
2. Marco normativo.....	32
CAPITULO 3: Reutilización de los efluentes líquidos tratados para irrigación	37
1. Introducción	37
2. Balance hídrico agrícola.....	38

2.1. Precipitaciones	39
2.2. Evapotranspiración.....	39
2.3. Ascenso capilar.....	43
2.4. Infiltración	43
2.5. Escorrentía superficial	44
3. Especies a cultivar	44
4. Evaluación del área de cultivo	45
5. Simulación con CROPWAT.....	46
5.1. Descripción del software	46
5.2. Experimentación.....	50
5.3. Resultados de simulación y análisis	56
6. Plan de reutilización de efluentes tratados	58
7. Conclusiones y recomendaciones.....	59
CAPÍTULO 4: Ampliación y refuncionalización del Establecimiento Depurador Rivadavia	61
1. Introducción	61
1.1 Objetivos del tratamiento	61
2. Análisis de alternativas.....	63
2.1. Alternativa A.....	66
2.2 Alternativa B.....	67
2.3. Comparación y conclusiones	68
3. Memoria descriptiva	70
3.1. Pretratamiento	71
3.2. Tratamiento primario	71
3.3. Tratamiento secundario	72
3.4. Desinfección	72
4. Memoria de cálculo.....	73
4.1. Pre-tratamiento.....	73
4.2. Tratamiento primario	79
4.3. Tratamiento secundario	84
4.4. Desinfección	87
4.5 Conclusiones.....	90
5. Obras complementarias	92

5.1 Tratamiento de lodos	92
5.2 Adecuación de lagunas existentes	94
5.3 Sistema de control	95
6. Cómputo y presupuesto	96
6.1 Inversión inicial.....	96
6.3 Operación y mantenimiento.....	97
CAPÍTULO 5: Estudio de impacto ambiental.....	99
1. Introducción	99
2. Descripción del proyecto y sus acciones	100
2.1 Ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia	100
2.2 Reutilización de efluentes tratados para riego en ACREs	104
3. Identificación y valoración de los impactos ambientales	106
3.1. Ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia	108
3.2 Reutilización de efluentes tratados para riego en ACREs	112
4. Plan de prevención y mitigación.....	115
4.1 Medio físico-natural	115
4.2. Medio socio-económico	117
5. Conclusiones	118
Conclusiones	119
Bibliografía	120
Anexo 1	123
Anexo 2	124
Anexo 3	135
Anexo 4	137
Anexo 5.....	145

Introducción

El desarrollo de las actividades humanas comprendidas en un centro urbano, como lo es la Ciudad de Rivadavia, Provincia de Mendoza, genera numerosas corrientes de desechos. La fracción líquida o efluentes líquidos en este caso están compuestos esencialmente por las aguas residuales provenientes de los domicilios, instituciones públicas y establecimientos comerciales conectados a la red cloacal. Las aguas residuales de origen principalmente doméstico se caracterizan por su alto contenido en materia orgánica, microorganismos patógenos y nutrientes. Es por esto que la problemática ambiental asociada a la de gestión de las mismas esta generalmente relacionada con el potencial de contaminación y de transmisión de enfermedades que poseen.

Sin embargo, en las últimas décadas se dio un cambio de paradigma en cuanto al enfoque que se le da a la gestión de las aguas residuales: estas pasaron a ser consideradas una fuente de recurso hídrico más que como un desecho. Los avances tecnológicos en materia de tratamiento de aguas y el desarrollo de políticas de conservación permitieron la implementación de sistemas de reutilización de efluentes líquidos en diferentes ámbitos. Este es el caso de la Provincia de Mendoza, en la cual la reutilización de efluentes cloacales tratados para el riego de cultivos esta legislada desde el año 1996. En este marco es que se abordó puntualmente la problemática que enfrenta la Ciudad de Rivadavia en cuanto a la gestión de sus efluentes líquidos domiciliarios.

La Ciudad de Rivadavia es la ciudad cabecera del departamento homónimo y se encuentra en la región centro-norte de la Provincia de Mendoza, como se observa en la Figura 1. Se ubica en el llamado oasis norte, por lo cual la principal actividad económica que se desarrolla en la región es la agricultura. Tiene una población estimada de alrededor de 30.000 habitantes.

Desde el año 1997 los efluentes líquidos de la ciudad son tratados en el Establecimiento Depurador Rivadavia (ED Rivadavia), en el cual son sometidos a un tratamiento biológico en lagunas de estabilización. El crecimiento de la población y la ampliación de la red cloacal hicieron que desde hace ya varios años la capacidad del ED de Rivadavia se vea superada y que la calidad del tratamiento sea deficiente. Corregir esta situación es de especial interés debido a que los afluentes del ED son utilizados para riego en Áreas de Cultivo Restringidas (ACREs). A pesar de que esta práctica está reglamentada, las deficiencias en el tratamiento del efluente junto con una mala gestión han provocado la degradación de muchas de las tierras en las cuales se da esta práctica. Además, el potencial impacto sobre los diferentes aspectos del ambiente que tiene esta situación hace que sea totalmente insostenible.

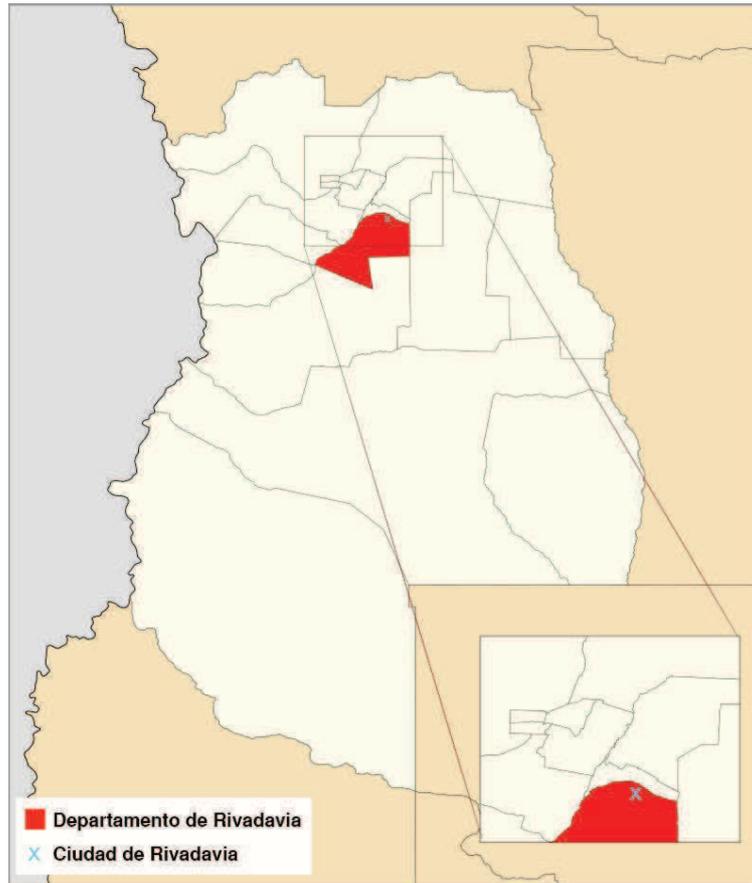


Figura 1. Ubicación de la Ciudad de Rivadavia en la Provincia de Mendoza.

Es por todo esto que en 2018 el ente encargado de la gestión de los efluentes líquidos domiciliarios en la Ciudad de Rivadavia, Agua y Saneamiento Mendoza (AySAM), llamó a licitación el proyecto de ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia. En el anteproyecto presentado por AySAM se establece que será necesario construir una nueva serie de lagunas de estabilización, dos lagunas aireadas y una cámara de desinfección, además de realizar las correspondientes adecuaciones de las instalaciones existentes. También hace mención a la necesidad de estimar los caudales necesarios para riego, lo cual se presenta como un punto opcional.

En el presente proyecto se decidió abordar de manera conjunta el diseño del proceso de tratamiento los efluentes domiciliarios y la reutilización de los mismos. A continuación se describe el objetivo del proyecto y la metodología empleada.

1. Objetivo

El principal objetivo del proyecto es la optimización del tratamiento y la reutilización de los efluentes líquidos domiciliarios de la Ciudad de Rivadavia, Mendoza, de manera que estas prácticas sean sustentables, cumpliendo en todo momento con los límites de vuelco establecidos en la normativa aplicable.

Se pueden distinguir objetivos secundarios como la evaluación del anteproyecto propuesto por AySAM y la implementación de un modelo computacional para el diseño del plan de riego.

2. Metodología

Para lograr el objetivo planteado se realizó en primer lugar una investigación sobre el estado de la problemática y sobre las características del área de estudio. La información obtenida fue complementada con una visita que se realizó al ED de Rivadavia en septiembre de 2018 en compañía de personal de AySAM. En esta instancia se realizó un relevamiento fotográfico del establecimiento.

Posteriormente se diseñó un plan de reutilización de los efluentes para riego, para lo cual se utilizó el software libre CROPWAT 8.0. Este se basa en la metodología para la estimación de caudales de riego propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Con los resultados obtenidos de dicho plan, se abordó el diseño de la ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia. Para ello se realizó el replanteo del anteproyecto propuesto por AySAM y se planteó una alternativa de tratamiento.

Por último se realizó un estudio de impacto ambiental del proyecto. Se identificaron y valoraron los impactos utilizando una matriz de Leopold modificada y se planteó un plan de prevención y mitigación.

CAPÍTULO 1: Diagnóstico

1. Cobertura de servicios sanitarios y población a servir

1.1. Evolución de los servicios de agua potable y desagües cloacales

El último Censo de Población y Vivienda llevado a cabo en 2010 permitió evaluar la cobertura de los servicios de agua potable y desagües cloacales en la totalidad del Departamento de Rivadavia en ese año. Dichos servicios son provistos por AySAM, anterior Obras Sanitarias Mendoza S.A. (OSM S.A.), el mayor proveedor de servicios sanitarios de la Provincia.

A nivel departamental, el Censo indicó que más de la mitad de los hogares tenían en ese entonces descarga a cámara séptica y/o pozo ciego, mientras que solo un 39,42% de los hogares contaban con acceso a la red de cloacas en el departamento. Paralelamente, se registró que 82,7% de los hogares poseían en 2010 acceso a agua de red dentro de la misma vivienda.

Las limitaciones en el servicio, principalmente en lo que respecta al acceso a la red cloacal, estaban asociadas a la falta de inversiones, situación que se dio principalmente desde la privatización de estos servicios en 1998 cuando el estado provincial decide vender la mayor parte de sus acciones de OSM S.A. a capitales privados. Se estima que, durante el periodo que va desde 1998 a 2008, el porcentaje de inversiones de la empresa en plantas depuradoras, disposición de efluentes y reuso, fue de solamente un 6% de lo estipulado en el Plan de Operaciones y Expansiones (POE) elaborado en 1996. Esto llevó a una situación de déficit en la calidad de prestación y atrasos en la cobertura de los servicios. Los escasos niveles de renovación de redes y mantenimiento preventivos de las mismas, junto con el marcado deterioro de la infraestructura en plantas, equipamiento y aspectos tecnológicos tuvieron altos costos ambientales (AySAM, 2016). La Auditoría General de OSM S.A. realizada en mayo de 2010, concluye claramente que: *“Los aspectos ambientales derivados de los servicios de depuración y disposición de efluentes han sido de muy baja consideración en la gestión empresarial de OSM en el período considerado. No se ha dado pleno cumplimiento a requerimiento de muestreo para el monitoreo de la calidad de servicio y de los impactos ambientales”*.

Esta situación comenzó a revertirse a partir de 2010 cuando sucede la intervención de OSM S.A., la cual se da debido a reiterados incumplimientos del Contrato de Concesión por parte de la empresa. En ese entonces se crea AySAM S.A., a la cual se le otorga la concesión de la prestación del servicio público de provisión de agua potable y saneamiento que anteriormente tenía OSM S.A. De esta forma, siendo la Provincia de Mendoza poseedora del 90% de las acciones de AySAM, el servicio vuelve a estar en manos del estado.

Desde ese entonces, se comenzaron a llevar a cabo obras con el objetivo de ampliar el servicio y evitar el deterioro de las instalaciones existentes. En el 2011 se sancionó la Ley 8270, la cual

autorizó al Poder Ejecutivo Provincial a contraer deudas por U\$S 160.000.000 para llevar a cabo las inversiones necesarias en los 5 años siguientes. Esto se renovó en 2015 a través de la Ley 8816. La Ley 8270 también impuso la necesidad de lograr gradualmente la autosustentabilidad operativa de AySAM, para lo cual se creó el “Programa de Recomposición y Convergencia de las tarifas”, regulado por el Ente Provincial del Agua y de Saneamiento (EPAS)¹.

Por otro lado, es importante destacar que en el departamento de Rivadavia se comenzó a trabajar en la expansión de la red cloacal mediante el “Plan Renovación de la Red Cloacal” financiado por el gobierno provincial en conjunto con el municipio. Este ya lleva concretada ya más de 25.000 metros en el departamento (Municipalidad de Rivadavia, 2018). Según fuentes de la oficina de AySAM en Rivadavia, se prevé que para junio de 2019 se van a completar mil nuevas conexiones a la red. También está estipulado incorporar 400 conexiones más en los dos años siguientes.

1.2. Población a servir y caudal a tratar

Según los requerimientos establecidos en el anteproyecto para la ampliación del ED de Rivadavia formulado por AySAM, *“las obras a desarrollarse deberán permitir alcanzar una capacidad nominal de tratamiento de 8640 m³/día y población equivalente de 31760 habitantes al final del período de diseño, logrando de este modo una cobertura en el servicio de recolección de efluentes del 98% del área de Concesión”*. A pesar de que en el pliego no está establecido el periodo de diseño, durante la visita al ED se me fue informado que este es de 20 años.

Debido a que uno de los objetivos de este proyecto es evaluar el ante proyecto puesto por AySAM, se hizo el cálculo de la población equivalente a servir al final del periodo de diseño con datos poblacionales obtenidos de los últimos tres censos nacionales (Tabla 1).

Año	Población Ciudad de Rivadavia (hab)
1991	21770
2001	26792
2010	31038

Tabla 1. Población de la Ciudad de Rivadavia según los últimos tres censos nacionales. Fuente: INDEC

El método utilizado para llevar esto a cabo fue el de proyección demográfica por tasa decreciente. Los resultados obtenidos fueron de una población de 35432 habitantes para 2019 y de 46174 habitantes para 2039.

A pesar de que los datos de población plasmados en la Tabla 1 son específicos de la Ciudad de Rivadavia, los valores obtenidos fueron muy diferentes a lo planteado por AySAM. A primera vista, sería inevitable pensar que el valor de población equivalente de AySAM esta subestimado ya que este es similar a la población de la ciudad en 2010. Sin embargo, es importante tener en cuenta los datos de población servida provistos por la oficina de AySAM de Rivadavia. Estos se observan en la Tabla 2.

¹ Las funciones del EPAS en la Provincia de Mendoza son de regulación, control y policía de los servicios de

	Conexiones	Habitantes ¹
Conexiones de cloacas estimadas actualmente ²	5714	22345
Conexiones a incorporarse para junio 2019	1000	3910
Total 2019	6714	26255
Conexiones a incorporarse dentro de los próximos dos años	400	1564
Total 2021	7114	27819

Tabla 2. Conexiones a la red cloacal de la Ciudad de Rivadavia. ¹Los habitantes son calculados según los valores del último índice censal que estableció una cantidad de 3,91 persona por vivienda. ²Estimado según el caudal que ingresa a planta depuradora ya que los datos oficiales no reflejan la realidad debido a las conexiones clandestinas. Fuente: Oficina AySAM de Rivadavia.

Estos datos se condicen con lo previsto en el anteproyecto. Suponiendo que no se realizaran más obras de expansión de la red cloacal que las reflejadas en la Tabla 2, un valor de población equivalente de 31760 habitantes para el año 2039 se encuentra dentro de los valores esperados.

Lamentablemente, no se encontraron detalles de cuál sería el área de concesión o qué parte de la ciudad abarca, de manera que se concluye que utilizar los valores de población equivalente estimada con los datos censales implicaría una gran sobreestimación. Es por esto que se decidió utilizar el valor de población equivalente provisto por el anteproyecto de AySAM.

Paralelamente, se hizo una búsqueda de valores de dotación² asociados al área de estudio. Para el caso de la Provincia de Mendoza en general el valor de dotación promedio es de 410 L/d.hab (Reta, 2003). Sin embargo, se considera que la proporción de agua destinada para consumo que llega finalmente los desagües es de entre un 60 y 85 por ciento del total (Metcalf & Eddy, 1995). Esto se debe a que gran parte de esta agua se utiliza en los procesos productivos, la irrigación de los espacios verdes, el mantenimiento de infraestructuras, entre otros. Entonces, se puede estimar que la cantidad de agua que llega a la red de desagües por día por habitante en la Provincia de Mendoza está comprendida entre los 246 y 348,5 L/d.hab.

Dividiendo los valores de caudal a tratar y población a servir que se establecen en los requerimientos principales del anteproyecto de AySAM, se puede saber cuál es el caudal de efluentes cloacales generado por día por habitante que se consideró. Este ronda los 270 L/d.hab, valor que está comprendido en el rango estimado a partir del valor de dotación general para la provincia.

Es importante mencionar que se obtuvo por parte de la oficina de AySAM de Rivadavia un valor de dotación de 205 L/d.hab. Sin embargo, debido a que este valor es muy bajo y podría llevar a subestimaciones en las dimensiones de la planta, se decidió utilizar el valor de dotación obtenido del anteproyecto. La evolución prevista de los caudales se presenta en la Tabla 3.

² La dotación es la cantidad de agua por día que consumen los habitantes de una determinada población con el fin de satisfacer sus necesidades. Este valor es característico de cada comunidad y depende de las demandas de agua para los distintos usos como pueden ser la alimentación, el lavado de ropa y del hogar, el aseo personal, el riego en los domicilios, los baños, los usos industriales y comerciales y el uso público.

Año	Caudal (m ³ /d)
2019	7142,42
2021	7567,89
2039	8640

Tabla 3. Evolución de los caudales de efluentes cloacales que llegan al ED de Rivadavia.

2. Situación actual del Establecimiento Depurador Rivadavia

El ED Rivadavia se encuentra a aproximadamente 5km del centro de la Ciudad de Rivadavia, entre las calles Isaac Estrella y Avellaneda. Su ubicación se puede observar en la Imagen 1. El predio donde se ubica tiene una superficie total de 36,6 ha. El ED de Rivadavia comenzó a operar en 1997.



Imagen 1. Predio del ED Rivadavia. Fuente: Google Earth.

2.1. Caracterización del efluente de entrada

El control de la calidad del agua potable y del grado de tratamiento de los líquidos cloacales y/o industriales asimilables es llevado a cabo por el Departamento Laboratorio de AySAM. En dicho departamento se realizan los monitoreos analíticos de distintos tipos de muestras, siguiendo una determinada Planificación de Muestreo.

Para determinar la matriz de efluentes cloacales, el Departamento Laboratorio establece un cronograma con las fechas y frecuencias de muestreo, generalmente mensuales. En el Anexo 1 se muestran los valores de los análisis efectuados por AySAM sobre muestras del efluente de entrada del ED, en el periodo que va desde septiembre de 2012 hasta agosto de 2016.

En la Tabla 4 se observan los valores promedios de cada variable, los cuales serán utilizados posteriormente en la etapa de diseño. Se tomaron los valores promedios de las muestras compuestas, excepto en el caso de E. Coli ya que se cuenta solo con los valores de las muestras simples.

ED Rivadavia - Efluente entrada	
Parámetro	Valor promedio
pH (unidad de pH)	7,53
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1935,20
Sólidos en suspensión volátiles (mg/l)	111,40
Sólidos en suspensión volátiles (mg/l)	39,15
Sólidos en suspensión totales (mg/l)	151,00
Sólidos sedimentables en 10 min (mg/l)	1,73
Sólidos sedimentables en 2 hs (mg/l)	2,55
D.B.O. 5 días. 20°C (mg/l)	187,72
D.Q.O. (mg/l)	434,80
E. Coli (NMP/100 ml)	$5,02 \times 10^7$
Huevos de Helmintos (huevos/1000 ml)	19,89
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃) (mg/l)	39,95
Fósforo total (PO ₄ ⁻³) (mg/l)	14
Sulfatos (SO ₄ ⁻²) (mg/l)	424,50

Tabla 4. Características del efluente cloacal producido en la Ciudad de Rivadavia. Fuente: AySAM (2012-2016).

Con respecto al caudal de efluentes cloacales tratados, se obtuvo del Plan Estratégico de AySAM (2016) que el ED de Rivadavia fue diseñado para tratar 4795,2 m³/d. En este mismo informe se registró que el caudal que se estaba recibiendo en el 2016 era de 5356,8 m³/d, un 12% más. Tomando los datos provistos por la oficina de AySAM, se puede estimar que el caudal que llega al ED hoy en día es de aproximadamente 6000 m³/d.

2.2. Proceso de tratamiento de efluentes

El ED Rivadavia cuenta con tres series de lagunas de estabilización en paralelo. Cada serie está compuesta por dos lagunas, estas se pueden observar en la Imagen 2. La superficie líquida que tienen es de aproximadamente 10 ha en total.



Imagen 2. ED de Rivadavia. Fuente: AySAM

Cada serie está compuesta por dos lagunas facultativas, una laguna primaria (L1) y una secundaria (L2). Las características de estas lagunas se observan en la Tabla 5. En las tres series las dimensiones de las L1 y L2 se mantienen.

		Laguna primaria (L1)	Laguna secundaria (L2)
Altura del líquido (m)		1,8	1,5
Superficie	Ancho (m)	63,5	63,5
	Largo (m)	381	127
Talud		3:1	3:1
Volumen (m3)		39257,22	10848,54
Tiempo de retención hidráulica (d)		24,5	6,8

Tabla 5: Características de las lagunas de estabilización. Fuente: AySAM.

Comparando los valores reflejados en la Tabla 5 con los parámetros típicos de diseño para lagunas de estabilización según Metcalf & Eddy (1995) se puede confirmar que las L1 son lagunas facultativas, es decir que en ellas se lleva a cabo una degradación de la materia orgánica tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. Para las L2 es más difícil determinar qué tipo de tratamiento se lleva a cabo. Definitivamente no se trata lagunas aeróbicas ni de maduración porque la altura del líquido no permitiría que se generen únicamente condiciones aeróbicas, por lo cual se concluye que estas lagunas secundarias son efectivamente facultativas también aunque podría llegar a considerarse que se trata de lagunas de maduración.

El tratamiento que se lleva a cabo en este ED es netamente biológico ya que las lagunas son las únicas unidades de tratamiento previo a la desinfección. Esta última se lleva a cabo suministrando hipoclorito de sodio aunque no haya propiamente una cámara de cloración. No hay unidades de pretratamiento ni de tratamiento primario o terciario.

La descarga de los afluentes del ED se realiza en ACREs, tierras de cultivo controladas, lo cual es considerado como una etapa final de tratamiento.

2.3. Deficiencias y problemas operativos

Actualmente el ED de Rivadavia no se encuentra en condiciones de efectuar el tratamiento de los efluentes cloacales de la Ciudad de Rivadavia de manera adecuada, es decir cumpliendo con los límites de vuelco establecidos por la normativa. Esto se da en mayor medida debido a que tanto la carga orgánica como la hidráulica que llegan al ED superan la capacidad del mismo.

Como se especificó anteriormente, en 2016 el ED de Rivadavia estaba recibiendo un caudal promedio de 5356,8 m³/d, un 12% más que su capacidad nominal de tratamiento de 4795,2 m³/d. Se estima que esta cifra podría estar rondando los 6000 m³/d en 2018. Esto es además agravado por la acumulación excesiva de lodos, la cual reduce el volumen disponible en las lagunas. Con respecto al problema con el exceso de carga orgánica, es importante destacar que está presente ya desde hace varios años: en la Auditoría General de 2010 queda expuesto que desde 2005 las mediciones de DQO soluble a la salida del ED dan valores mayores al límite, al igual que sucede con los SST, situación que no se pudo revertir en los últimos años.

Ante esta situación, para evitar sobrepasar los límites de coliformes fecales y así evitar el riesgo de transmisión de enfermedades, se empezó a recurrir a la cloración y desde 2002 esta se volvió una práctica sistemática. Este tipo de desinfección estaba contemplada ante una emergencia pero, al tener el efluente altas concentraciones de materia orgánica y algas, resulta inadecuado recurrir a la cloración de aguas por tiempos prolongados ya que se forman compuestos organoclorados los cuales son perjudiciales para la salud. Esto no cumple con las recomendaciones incluidas en una de las Declaraciones de Impacto Ambiental emitidas dentro del Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental del ED de Rivadavia (1997).

Por otra parte, una de las grandes deficiencias en cuanto a la operación es la falta de gestión de los lodos generados en las lagunas. La falta de extracción de barros generó una gran acumulación de los mismos en las lagunas primarias, llevando a altos niveles de degradación anaerobia y generando olores que llegan a las personas que habitan en las cercanías. Al estar el ED sobrepasado en carga hidráulica, no se puede realizar la extracción de lodos ya que para llevar a cabo esta tarea es necesario dejar fuera de funcionamiento las lagunas y esto agravaría aún más la situación.

Finalmente, el último punto a considerar es la disposición final de los efluentes en ACREs. A pesar de que se estima que no hay riesgo microbiológico ya que las muestras analizadas cumplen con los límites de E. Coli y Huevos de Helmintos, el afluente definitivamente no se encuentra en condiciones de ser utilizado para irrigación ya que esto supone un riesgo de contaminación de las tierras y el acuífero subyacente.

3. El recurso hídrico y su gestión

3.1. Situación en la Provincia de Mendoza

El clima en la Provincia de Mendoza es árido a semiárido, con una variabilidad de precipitaciones que van desde los 100 mm, en el extremo Noroeste, hasta los 400 mm en el sector Sureste. Los vientos que llegan al territorio provincial tienen bajo contenido de humedad: por un lado los vientos del Atlántico llegan con escasa humedad tras recorrer más de 1000 km y por el otro, aquellos provenientes del océano Pacífico precipitan su humedad al pasar por la Cordillera de los Andes, ingresando como vientos secos y cálidos.

Las escasas precipitaciones implican que la principal fuente del recurso hídrico para el desarrollo de las actividades económicas y de las comunidades sean los ríos provenientes del deshielo de los glaciares y nieves en la Cordillera de los Andes. A lo largo de los años y siguiendo un modelo agroindustrial de desarrollo, se llevaron a cabo en la Provincia de Mendoza obras de regulación (canalizaciones) para extender la zona de abastecimiento del recurso, desarrollando así distintos oasis irrigados y ganándole territorio a las zonas desérticas. Estas obras son principalmente sistemas artificiales de conducción de aguas, captación de cauces, embalses naturales o artificiales, las cuales hoy en día son características de esta provincia. Se fueron construyendo redes con canales primarios o matrices, secundarios o ramas, terciarios o hijuelas y cuaternarios o ramos, como se puede ver en la Figura 2. La disposición de estas redes fue hecha en base a la topografía del terreno ya que la circulación de las aguas se da por acción de la gravedad.



Figura 2: Sistemas de conducción de aguas para la irrigación. Fuente: DGI

Además de los ríos, las aguas subterráneas también sirven como fuente de agua dulce. Estas son utilizadas para distintos tipos de necesidades, pero sobre todo para riego. En la provincia hay alrededor de 20 mil pozos para acceder a las aguas subterráneas, de los cuales alrededor del 60% están activos.

En lo oasis se llevan a cabo las principales actividades agrícolas dependientes del riego y sus industrias derivadas. Principalmente se caracterizan por la presencia de viñedos, olivos, árboles frutales, hortalizas y forestación. Estos oasis solo representan un 4,8% del territorio de la provincia y sin embargo alojan al 95% de la población con densidades máximas en las zonas urbanas de aproximadamente 300 habitantes/km². El resto del territorio se encuentra caracterizado en gran parte por la presencia de zonas áridas no irrigadas natural ni artificialmente, en las cuales la población es escasa y dispersa. Las actividades económicas que se desarrollan en estas áreas son la ganadería extensiva, la minería y la explotación petrolera.

A pesar de que la mayor parte del territorio sea desértico y de que las actividades agrícolas solo se puedan llevar a cabo en los oasis irrigados, esta es la principal actividad económica en la provincia, por lo cual queda en evidencia el rol fundamental que cumplen los recursos hídricos para el desarrollo de la misma. En líneas generales, el 93,75% del recurso hídrico se destina a la agricultura, un 5,45% al uso poblacional y el 1% a la industria y otras actividades. Es por esto que la gestión del recurso es de vital importancia y a lo largo de los años no solo se llevaron a cabo obras para la distribución de las aguas, sino que también se fue desarrollando el marco institucional necesario para la administración y eficaz distribución de las mismas.

La primera medida que se tomó a nivel administrativo para el manejo del recurso hídrico data del año 1810, cuando el gobierno provincial crea el cargo de Regidor de Aguas. Años más tarde y después de pasar por distintas instancia y modos de regulación, se sanciona en 1884 la Ley de Aguas, la cual no tuvo precedentes en la Argentina y fue tomada como ejemplo para la sanción de leyes similares en otras provincias de la región. Esta ley fue la que instauró el concepto del recurso hídrico como un bien público y en los 30 años posteriores a su sanción se duplicó la extensión de tierras cultivadas en la provincia, demostrando la importancia y la necesidad de la regulación del recurso en la Provincia de Mendoza.

La Ley de Aguas también crea al organismo que hoy en día es el principal responsable de la gestión y preservación del recurso, el Departamento General de Irrigación (DGI). A pesar de lo que indica su nombre, este se encarga de la regulación del recurso para todos sus usos: abastecimiento poblacional, riego, industrial, energía y recreación. El DGI es un organismo autárquico a nivel institucional y financiero, independiente del Poder Ejecutivo, capaz de sancionar regulaciones relacionadas con la gestión del recurso.

Además del DGI, las otras instituciones que participan en la gestión del recurso son el Gobierno de la Provincia a través de sus ministerios, AySAM, los municipios y el Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS).

Hoy en día, además de continuar con el desarrollo de las obras civiles relacionadas con la gestión del agua, en la Provincia de Mendoza se está motivando el compromiso social de los ciudadanos para con el cuidado y la preservación del recurso, introduciendo el concepto de *Gobernabilidad del*

Agua³ y desarrollando iniciativas como lo son la Ciudadanía del agua y el Plan agua 2020, impulsadas por el DGI.

3.2. La reutilización de efluentes líquidos

En la actualidad existen numerosos procesos de tratamiento que permiten modificar las características de las aguas residuales de tal forma que a estas se les puedan dar nuevos usos, lo cuales se exponen en la Tabla 7.

Usos de las aguas residuales	
1. Riego en agricultura	Riego de cultivos, Plantaciones comerciales
2. Riego de espacios verdes	Parques, Patios de colegios, Medianas de autopistas, Campos de golf, Cementerios, Zonas verdes, Zonas residenciales
3. Reciclaje y reutilización industrial	Refrigeración, Calderas, Agua de proceso, Construcciones pesadas, Control de polvo
4. Recarga de aguas subterráneas	Recarga de acuíferos, Control de intrusión de aguas saladas, Control de subsidencias
5. Usos recreativos/ambientales	Lagos y estanques, Mejora de zonas pantanosas, Incremento de los caudales de los cursos de agua, Piscifactorías, Fabricación de nieve artificial
6. Usos urbanos no potables	Protección contra incendios, Aire acondicionado, Lavabos e inodoros
7. Reutilización en usos potables	Mezcla en depósitos de agua de abastecimiento, Abastecimiento de agua directo

Tabla 7: Usos de las aguas residuales ordenados en función del volumen potencialmente reutilizable. Fuente: Metcalf & Eddy, p.1293 (1995)

Como se puede ver, a las aguas reutilizadas se les puede dar técnicamente cualquier uso, dependiendo del tipo de tratamiento que preceda. Sin embargo, algunos usos no son muy comunes, como por ejemplo la reutilización para consumo humano. Esto tiene principalmente dos razones. Por un lado, está el balance que se hace entre el beneficio obtenido y el costo económico, el cual no suele ser positivo a medida que aumenta la complejidad del tratamiento ya que se necesita de una mayor infraestructura e implica altos requerimientos energéticos. Existen situaciones en las cuales la necesidad de agua dulce es tan importante que resulta viable llevar a cabo tratamientos costosos, pero en la mayoría de los escenarios esto no es así. Por el otro, está el limitante socio cultural que hace que a las personas les resulte difícil aceptar la idea de consumir agua de ciertos orígenes “no convencionales”.

La reutilización de efluentes líquidos tiene grandes beneficios económicos y ambientales. Las aguas residuales pasan a ser otra fuente de agua dulce, lo cual disminuye la extracción de agua de los sistemas naturales y puede ser fundamental en los ecosistemas sensibles (EPA, 2012). De esta forma también se puede ahorrar energía de bombeo y transporte. A su vez, se reducen las

³ La gobernabilidad del agua se refiere al rango de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos implementados para desarrollar y manejar los recursos hídricos y la entrega de servicios sanitarios en los diferentes niveles de la sociedad (Global Water Partnership 2002)

descargas a cuerpos receptores, evitando la posible contaminación de los mismos. Esto no implica que no existan riesgos para la salud humana o de contaminación, pero debido a que para llevar a cabo la reutilización de aguas es necesario un tratamiento efectivo, hay un especial énfasis puesto en los controles y las regulaciones.

Puntualmente, la utilización de efluentes para irrigación es ventajosa ya que favorece la reducción del estrés hídrico y a su vez permite darle tratamiento final al efluente ya que es considerada como uno de los principales sistemas de tratamiento naturales⁴. El tratamiento del agua residual en los sistemas de tratamiento natural se consigue mediante procesos físicos, químicos y biológicos naturales que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua-plantas. Los sistemas naturales son capaces de eliminar, hasta cierto punto, casi todos los constituyentes del agua residual considerados como contaminantes (sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, elementos de traza, compuestos orgánicos de traza, y microorganismos) (Metcalf & Eddy, 1995).

Es importante destacar la remoción de nutrientes. Esto se da en parte gracias a la absorción de los mismos por parte de las plantas para su desarrollo, principalmente de nitrógeno y fosforo. Esto no solo es ventajoso ya que reduce la necesidad de procesos complejos para la remoción de los mismos en las plantas de tratamiento, sino que a su vez se reducen los consumos de fertilizantes y suplementos por parte de los agricultores.

Particularmente el fósforo suele ser el elemento limitante para el crecimiento de la biomasa vegetal, por lo cual es esencial el desarrollo de los cultivos que alimentan a la población. Debido al aumento exponencial de la población y de la necesidad de alimentos, la demanda de fosforo ha crecido desmedidamente a nivel mundial, llevándonos al borde de un crisis por la disponibilidad de este nutriente. Se considera que la problemática del fosforo es la segunda problemática ambiental a enfrentar al corto plazo luego del cambio climático. Este nutriente es un recurso mineral no renovable y sin embargo no es gestionado de forma sustentable, la mayor parte del fósforo termina acumulado, sin poder ser utilizado, en los suelos en donde se practica la ganadería, en los desechos sólidos y en los cuerpos de agua generando eutrofización (European Sustainable Phosphorus Platform, 2011). Para poder lograr un uso sustentable y evitar que las reservas de fósforo se agoten, es necesario limitar lo máximo posible su uso y, sobretodo, recuperar y reutilizar este nutriente.

3.2.1. Aplicación en la Provincia de Mendoza

En el caso de la Provincia de Mendoza, la reutilización de efluentes parte de la necesidad de preservar el recurso, ya que la disponibilidad de agua dulce se ve continuamente amenazada por el incremento demográfico, la urbanización y el cambio climático. Los principales usos que se les dan hoy en día a las aguas residuales están relacionados con la agricultura, la acuicultura y la recarga de aguas subterráneas. De esta forma lo que se busca es reducir el estrés hídrico, situación

⁴ El tratamiento de efluentes a través de la irrigación en campos cultivados es conocido como un sistema de baja carga (Metcalf & Eddy, 1995)

desafortunadamente habitual en la Provincia. En los últimos 8 años en la Provincia se declaró el estado de “Emergencia Hídrica Provincial” seis veces, situación en la cual los caudales de los ríos son menores que lo necesario para abastecer a todas las cuencas.

A pesar de los beneficios que tiene la reutilización de efluentes, es importante tener en cuenta en todo momento los riesgos que esta práctica puede tener para la salud humana y el ambiente. Es por esto que en la Provincia de Mendoza surgió la necesidad de establecer regulaciones que determinen cuáles son las condiciones bajo las cuales se puede llevar a cabo la reutilización de efluentes.

El DGI, además de establecer los límites de vuelco y los diferentes usos de los efluentes según el tipo de tratamiento, creó mediante la Resolución 400/03 las Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACREs). Estas son tierras destinadas al crecimiento de cultivos en las cuales el agua para riego proviene de los establecimientos depuradores de efluentes cloacales. Esta práctica tiene una necesidad de administración y control superior ya que se debe asegurar que los efluentes se utilicen sólo dentro del ACRE y se deben establecer medidas de seguridad e higiene determinadas para preservar la salud de los trabajadores. Es por esto que los regantes de ACREs deben estar inscriptos en el DGI, el cual se encarga de hacer un seguimiento a través de las Inspecciones de Cauce.

Más allá de todos los requerimientos específicos mencionados, la incorporación de esta fuente de agua para irrigación es completamente compatible con la gestión del recurso que venía haciendo el DGI. La implementación de esta práctica trajo resultados tanto positivos como negativos, lo cual era de esperar dado que no se tenía experiencia sobre esto a nivel provincial ni nacional. En los primeros 10 años se crearon muchos ACREs, para el año 2014 ya existían casi 7000 ha en las cuales se llevaba a cabo esta práctica, como se puede ver en la Figura 3. Se logró una buena administración y control en los ACREs más grandes, como Campo Espejo y Lavalle, situación que no se reflejó en los ACREs más pequeños. Vale destacar que en gran parte los problemas que tuvieron y tiene hoy en día los ACREs están asociados al tratamiento deficiente de los efluentes en los establecimientos depuradores, situación que se dio durante la gestión de OSM S.A. y que hoy en día se está buscando revertir. Sin embargo, la Provincia sigue apostando por el desarrollo de esta alternativa para lograr un mejor aprovechamiento del recurso, fomentando a través de inversiones y campañas las mejoras en los establecimientos depuradores y la creación de nuevos ACREs.

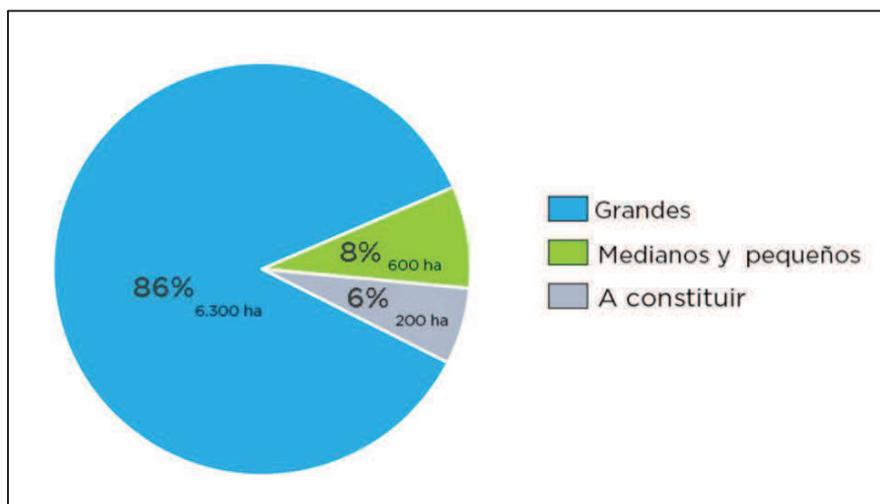


Figura 3: ACREs en Mendoza según magnitud de superficie irrigada, año 2014. Fuente: DGI

4. Conclusiones

El déficit en la prestación de servicios sanitarios en la Provincia de Mendoza ha disminuido notablemente en los últimos años. Desde 2010 se viene dando un proceso de ampliación y mejora de los servicios de agua potable y desagües cloacales, invirtiéndose una gran cantidad de fondos en esto. La refuncionalización y ampliación del ED de Rivadavia forma parte de este proceso.

Actualmente el ED de Rivadavia se ve sobrepasado estructuralmente, lo cual sumado a las deficiencias operativas resulta en un tratamiento deficiente de los efluentes cloacales. Esta situación es totalmente insostenible ya que existen grandes riesgos de contaminación del ambiente y riesgos para la salud humana, sobre todo si se tiene en cuenta que la disposición final de los efluentes se realiza en ACREs. Es por esto que es absolutamente necesario llevar a cabo las obras necesarias para que el ED de Rivadavia opere correctamente.

Luego de un análisis de datos poblacionales y de dotación, se concluyó que lo más certero para diseñar la ampliación y refuncionalización del ED es utilizar los valores de población equivalente y caudal a tratar especificados en el anteproyecto de AySAM. El caudal medio de diseño utilizado en los próximos capítulos es entonces de 8640 m³/d.

Del análisis del recurso hídrico en la Provincia de Mendoza se desprende la importancia de diseñar la reutilización de los efluentes tratados. La preservación y buena administración del recurso es crucial en la Provincia de Mendoza, lo cual se refleja en la eficiente y compleja gestión que se hace del mismo. Afortunadamente, no solo existe la necesidad de implementar esta práctica, sino que también se dan todas las condiciones estructurales y regulatorias para llevar esto a cabo.

CAPITULO 2: Estudios preliminares

1. Caracterización del área de influencia del proyecto

El área de influencia directa del proyecto está comprendida por la Ciudad de Rivadavia, el predio del ED y la zona al sur este del mismo ya que es donde se emplazan los ACRES. En la Imagen 3 se puede observar una vista satelital de la zona con el área de influencia destacada en rojo.

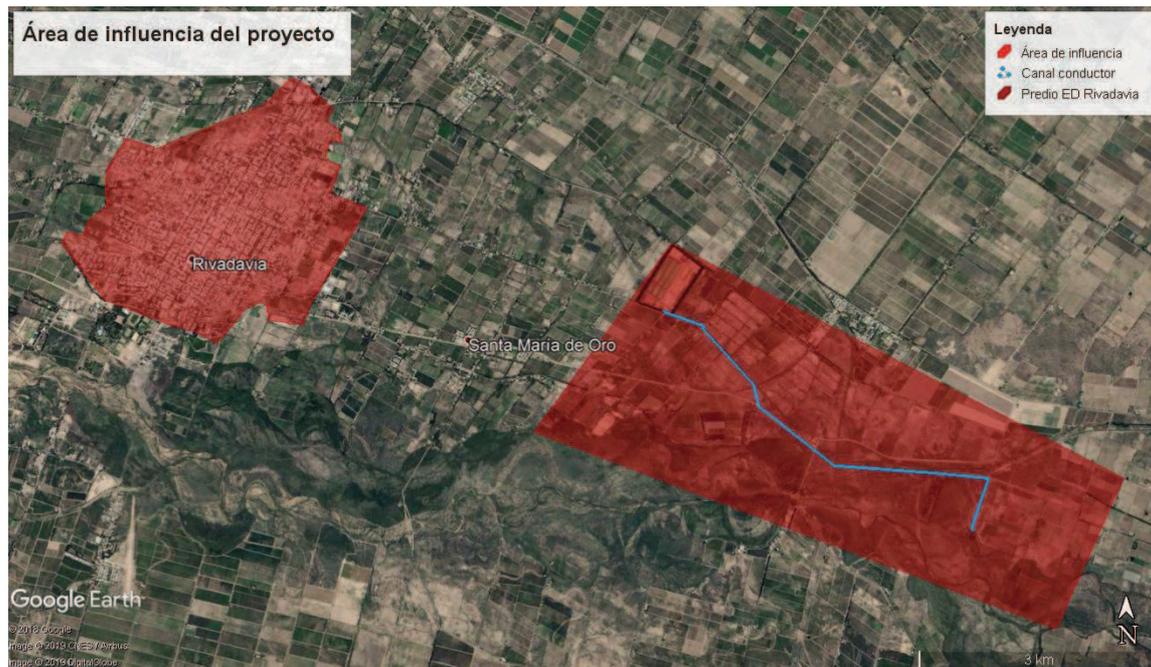


Imagen 3. Área de influencia directa del proyecto. Fuente: Google Earth.

A continuación se hace una descripción de dicha área desde el punto de vista físico, biológico y socio-económico.

1.1 Clima

Una de las clasificaciones climáticas más utilizadas es aquella elaborada por Koeppen a principios de siglo veinte. Esta clasificación se basa en principalmente en los valores de temperatura y precipitación, teniendo en cuenta sus variaciones estacionales y sus efectos sobre la vegetación natural. A las diferentes regiones climáticas se las identifica con una combinación de letras, la primera determina el tipo de clima general (tropical, seco, templado, frío o polar) y la segunda el subgrupo más específico.

Como se observa en la Figura 1 del Anexo 2 los tipos de clima que están presentes en la Provincia de Mendoza son:

- B Climas secos
 - BS seco de estepa: Clima árido continental, con estación seca en verano
 - BW desértico: Clima árido con precipitaciones inferiores a 400 mm, con estación seca en invierno
- E Climas polares
 - ET de tundra: Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C
 - EF de hielos eternos: La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C

Los climas de tipo polares se encuentran solamente en la región cordillerana, mientras que en el resto del territorio el clima predominante es el desértico, seguido del clima seco de estepa. Esto sucede más que nada por la baja cantidad de precipitaciones anuales en la provincia.

Puntualmente, la Ciudad de Rivadavia cuenta con un clima desértico. Las precipitaciones medias anuales se encuentran entre los 200mm y 300mm, como se puede observar en la Figura 4. El valor exacto de precipitaciones medias anuales es de 237mm, dato que se obtuvo de la estación del Servicio Meteorológico Nacional más cercana, la cual se encuentra en la Ciudad de San Martín, a 13 km de Rivadavia. De esta estación se obtuvieron también los valores medios de temperatura, siendo la media máxima anual de 24°C y la media mínima anual de 10°C. La máxima temperatura histórica que se registró fue de 43°C y la mínima de -9°C. La Figura 5 muestra las precipitaciones y las temperaturas medias históricas para cada mes del año en la Ciudad de San Martín.

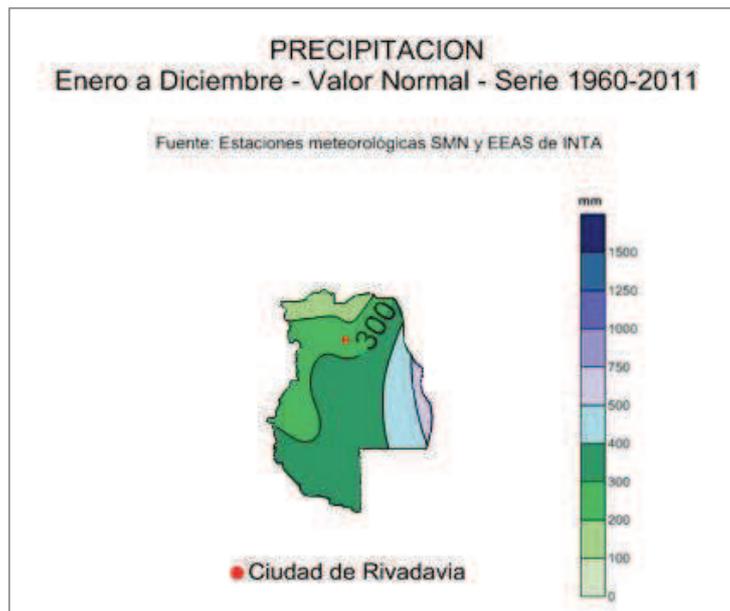


Figura 4: Precipitaciones medias anuales en la Provincia de Mendoza. Fuente: INTA, elaboración propia

Con respecto a los vientos, es importante recalcar que estos llegan a la provincial con un bajo contenido de humedad, lo cual está directamente relacionado con la baja cantidad de precipitaciones. Como se explicó anteriormente, los vientos del Atlántico llegan con escasa

humedad tras recorrer más de 1000 km y aquellos provenientes del océano Pacífico precipitan al pasar por la Cordillera de los Andes ingresando como vientos secos y cálidos. Específicamente en el área de estudio, los vientos predominantes provienen del cuadrante sudeste (Municipalidad de Rivadavia, 2018).



Figura 5: Valores medios históricos de temperatura y precipitaciones en la Ciudad de San Martín, Mendoza. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

1.2 Hidrología

En la sección *El recurso hídrico y su gestión, Situación en la Provincia de Mendoza* del CAPÍTULO 2 se hizo una descripción general del recurso hídrico en la Provincia de Mendoza, enfatizando en su gestión y en la importancia que tiene para el desarrollo de la provincia. Es necesario ahora hacer una caracterización técnica del recurso. Se comenzará por la describir la hidrología superficial, pasando luego a la descripción de la hidrogeológica de la zona.

1.2.1 Hidrología superficial

Los ríos en la Provincia de Mendoza se forman en un 70% a partir del derretimiento de los glaciares y las nieves en la Cordillera de los Andes, proceso que se conoce como fusión nival (IADIZA-CONICET, 2010). Los aportes de las precipitaciones son prácticamente nulos debido a la baja cantidad de lluvias que se dan en la región. El caudal de los ríos durante el invierno esta generado por el agua infiltrada que aparece en las laderas de los causes como aporte subsuperficial. El proceso de fusión nival comienza en la primavera, entre la segunda semana de septiembre y los primeros días de octubre, y su duración depende de la cobertura y espesor del manto nival. Este proceso puede extenderse en casos extremos hasta fines del mes de febrero. Los caudales máximos se suelen producir a fines de diciembre o principios de enero.

Con excepción de los ríos Malargüe y Grande, el resto de los principales ríos mendocinos (Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel) se encuentran gestionados a través de embalses. Los embalses sirven principalmente para regular el agua para riego ya que permiten compensar los déficits de suministro que se dan principalmente luego del invierno. También cumplen otras funciones como la generación energética, la provisión de agua potable, la recreación y la protección contra crecidas, entre otros.

Los principales ríos y sus redes de afluentes o tributarios forman distintas cuencas hidrográficas. Las cuencas son las unidades territoriales más utilizadas para la gestión del recurso hídrico, por lo cual resulta de interés caracterizar la cuenca en la cual se encuentra el área de influencia del proyecto.

A nivel nacional, el área de influencia forma parte del sistema hidrológico del río Colorado o cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó, una de las mayores cuencas de la Argentina con más 360000 km². Esta abarca toda la Provincia de Mendoza y parte de las Provincias de San Juan, La Rioja, San Luis, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Buenos Aires, descargando en el océano Atlántico como se observa en la Figura 2 del Anexo 2. En esta figura también se puede observar la división en subcuencas, la ciudad de Rivadavia y sus alrededores se encuentran en la subcuenca del Río Tunuyán.

En la Figura 3 del Anexo 2 se observa la cuenca del Río Tunuyán en detalle, la superficie que ocupa es de aproximadamente de aproximadamente 13500 km². Esta cuenca limita al oeste con la Cordillera de los Andes, límite que se extiende por una longitud de 110 km, lo cual hace que ríos que la conforman se formen a partir del derretimiento de las nieves y los glaciares como fue explicado anteriormente. En la cabecera de la cuenca se encuentran los ríos Santa Clara y de la Yesera, los cuales confluyen en el río las Tunas. A su vez, el río las Tunas se une con el río Alto Tunuyán unos kilómetros aguas abajo de la ciudad de Tunuyán dando origen al Río Tunuyán. El caudal medio del Río Tunuyán es de 30 m³/s (Auge, 2004).

La principal obra civil utilizada para la gestión del recurso en la cuenca es el embalse El Carrizal. Este fue construido en 1972 y constituye el límite entre los departamentos de Rivadavia y Luján de Cuyo. La función principal del embalse es la de regular las aguas del río para garantizar el abastecimiento para el riego de cultivos, aunque también es utilizado para desarrollar actividades de recreación y para la generación de energía eléctrica (77Gwh anuales). Con respecto a obras civiles de menor envergadura, se deben mencionar los tres diques presentes en la cuenca, Valle de Uco, Benegas y Phillips, los cuales se funcionan principalmente como derivadores de caudal para alimentar los distintos canales de riegos artificiales.

El área de influencia estudiada se ubica en la parte baja de la cuenca, la cual se desarrolla a partir del dique Benegas. A partir de ese punto el río Tunuyán sufre un cambio en la dirección de escurrimiento (Noroeste-Sudeste), la cual se mantiene hasta su desembocadura en el río Desaguadero.

1.2.2 Hidrogeología

A las regiones de rasgos hidrogeológicos similares se las conoce como regiones hidrogeológicas o cuencas hidrogeológicas. Estas tienen una base geológica que las caracteriza y que determina la presencia, distribución y características de las aguas subterráneas.

La Provincia de Mendoza se caracteriza estar dividida en dos tipos de regiones hidrogeológicas: aquellas que pertenecen a la zona de montaña (sector occidental) y aquellas que se encuentran en la zona de llanuras (sector oriental). El subsuelo de la zona de llanura está compuesto por materiales sedimentarios modernos de edad Cuaternaria y en menor medida Terciaria. Estos contienen la mayor parte de los reservorios de agua subterránea o acuíferos explotables y son alimentados por la infiltración que ocurre a través de los lechos de los principales ríos cordilleranos (ríos Mendoza, Tunuyán, Atuel, Malargüe, Grande y Barrancas).

En la Figura 4 del Anexo 2 están identificadas en el territorio todas las regiones hidrogeológicas de la provincia, siendo la Región de los Ríos Mendoza y Tunuyán aquella en donde se encuentra el área de estudio. Esta región también es conocida como la Cuenca Norte y tiene una extensión de 22800km. Puntualmente en esta cuenca los sedimentos que contienen las aguas subterráneas están comprendidos en capas de gravas, gravillas y arenas permeables o muy permeables, con intercalaciones limoarcillosas. Su disposición está asociada a los depósitos de la llanura aluvial de antiguos cauces de los ríos Mendoza y Tunuyán.

En la cuenca Norte se pueden identificar tres tipos de zonas:

- *La zona de recarga* de acuíferos profundos, la cual se ubica al oeste, y está compuesta por sedimentos gruesos con valores altos de porosidad y permeabilidad. A esta se la considera como un área de acuífero libre porque en el subsuelo no hay confinamiento de acuíferos. Allí recargan la cuenca las infiltraciones que ocurren en los lechos de los ríos y de los canales y por percolación en las áreas regadas. La composición química de las aguas es similar a la de los ríos.
- *La zona de acuíferos confinados/semiconfinados* que se desarrolla a continuación de la zona libre y se extiende hasta las lagunas de Guanacache al norte y al este hasta el río Desaguadero. El agua subterránea circula hacia ellos a través de un primer nivel acuífero, freático, libre, el más cercano a la superficie del terreno y de acuíferos semiconfinados y confinados, más profundos. El acuífero freático se halla salinizado y por lo cual no se realiza prácticamente ninguna explotación del mismo. En esta zona también ocurren infiltraciones en los canales y retornos de riego, pero al mezclarse con el agua salina del primer nivel su calidad se deteriora.
- *La zona de surgencia* es una zona de descarga que se encuentra hacia el Este entre el límite de acuífero libre y confinados. El nivel freático es muy cercano a la superficie del terreno y los pozos construidos a más de 80 metros de profundidad erogan agua sin la necesidad de equipos de bombeo dado que sus niveles piezométricos o hidráulicos se encuentran por encima de la superficie del terreno.

La ciudad de Rivadavia y todos los campos de riego a su alrededor se encuentran en la zona de acuíferos confinados/semiconfinados. El nivel de la napa freática en el área de estudio es de 10m (Ing. Hernández, Ing. Martinis, & Cdor. Fornero, 2012). En líneas generales, el agua fluye de forma radial, con direcciones hacia el Noreste, Este y Sudeste.

Se estima que en la totalidad de la cuenca el volumen de agua almacenado en el subsuelo es de 228.000 hm³, siendo solamente el 3 % económicamente explotable (Torres & Zambrano, 2000). Para la explotación de estas aguas se llevó a cabo una zonificación hidroquímica vertical que permite identificar tres niveles de explotación, los cuales se distinguen principalmente por su grado de mineralización. La profundidad de los niveles varía según la zona y las condiciones hidrogeológicas (ver sección 1.6.2).

1.3 Geomorfología

La geomorfología permite caracterizar el relieve de la superficie terrestre, identificando las distintas geoformas presentes y los procesos de génesis de los cuales derivan. El relieve condiciona las posibilidades de uso y desarrollo en las tierras, lo cual sucede en gran medida en la Provincia de Mendoza, cuyo territorio presenta una gran heterogeneidad de relieves, con una marcada influencia de la altura y de las rigurosas condiciones climáticas.

En la Figura 5 del Anexo 2 se puede observar el mapa geomorfológico de la región norte de la provincia. En este mapa la información está organizada en “estratos” de manera que se puede separar el relieve en las grandes unidades morfoestructurales (color-trama de fondo), las unidades del relieve y subunidades hasta geoformas (morfografía), las informaciones hidrográficas y de infraestructura y toponimia. La leyenda del mapa relaciona todos los niveles de información del mismo, con detalles sobre morfogénesis, morfocronología y procesos dominantes por geoforma.

En la totalidad de la Provincia de Mendoza se pueden identificar tres grandes unidades:

- Las montañas en el oeste.
- Las planicies y depresiones en el centro y este.
- Las mesetas y volcanes de la Payunia o ambiente de la Patagonia mendocina en el sur

Los procesos morfodinámicos y morfogenéticos que están modelando estas estructuras se pueden distinguir en: los que están más influenciados por factores exógenos o climáticos (erosión hídrica, eólica, escurrimiento, acción del hielo) y los que están determinados por factores endógenos (tectónica, vulcanismo). Estos últimos son los que determinan las condiciones de riesgo sísmico y volcánico, mientras que los primeros influyen en los riesgos de degradación de suelos y desertificación.

El área de estudio se encuentra formando parte de la unidad geomorfológica de planicies. Esta unidad tiene pendiente decreciente hacia el este, con alturas que van desde los 1.500 a los 300 m s.n.m. Dentro de las planicies se distinguen dos tipos de subunidades: las planicies

agrandacionales pedemontanas (piedemonte) y las llanuras orientales fluvio-eólica (llanura). Las planicies ocupan la mayor parte de la región noreste de la provincia, la cual se encuentra enmarcada por la Cordillera Frontal y el Macizo de San Rafael, hacia el Oeste, y por las sierras Pampeanas de San Luis, al Este.

En la zona de la ciudad de Rivadavia se encuentran características tanto del piedemonte como de la llanura. El piedemonte es una unidad de transición entre la región montañosa y la llanura. En el área de estudio el rasgo de piedemonte distintivo es la presencia de conos y abanicos aluviales de mayor jerarquía. Estos se forman por procesos exógenos de tipo fluviales y están relacionados con las crecidas de los ríos, en este caso del río Tunuyán.

Por otro lado, la llanura se caracteriza por no tener casi ninguna pendiente, las alturas se extienden entre los 600 y 400 m s.n.m., y por estar rellena con sedimentos arenosos, limosos y arcillosos de origen continental producto de la degradación y el desagüe natural en la cordillera de los Andes. Las subunidades que se distinguen dentro de las llanuras están relacionadas con la actividad morfogenética, principalmente con la evolución de la red de drenaje, y las facies de depositación de sedimentos con predominio de la actividad fluvial, lacustre o eólica. El área de estudio forma parte de la planicie aluvial con altas modificaciones antrópicas. Los factores exógenos formadores del relieve son principalmente fluviales, debido a la presencia de abanicos fluviales, y antropocénicos ya que en estas áreas se desarrollaron los oasis y centros urbanos más importantes.

Esta descripción se condice con la caracterización llevada a cabo por el Departamento de Obras y Proyectos de la municipalidad de Rivadavia. En la Figura 6 del Anexo 2 se observa el mapa geomorfológico del Departamento de Rivadavia, en el cual se puede ver que la zona de la Ciudad de Rivadavia se encuentra sobre una llanura aluvial plana muy suavemente ondulada con acumulaciones de arena.

1.4 Suelos

La caracterización de los suelos en la Provincia de Mendoza es de especial interés para el desarrollo de las actividades agrícolas. Es por esto que el INTA llevó a cabo un relevamiento de los suelos de la provincia. La clasificación utilizada corresponde a la taxonomía de suelos de USDA, también conocida como Soil Taxonomy. Las características del suelo de mayor relevancia para esta clasificación son los horizontes diagnósticos, el régimen de humedad del suelo y el régimen de temperatura del suelo.

En la mayor parte de la provincia, el orden de los suelos corresponde a los entisoles. Estos son suelos minerales jóvenes y con un bajo grado de evolución que no presentan horizontes genéticos naturales⁵. Por lo general sólo se observa organización de suelo en la parte superior del mismo.

⁵ Los horizontes que pueden definirse como capas dentro del perfil de suelo que tienen las mismas características edafológicas (color, estructura, textura, etc.) y que se presentan de modo paralelo a la

En el área de la Ciudad de Rivadavia los suelos también son del orden de los entisoles, más precisamente torrifluventes. Los fluventes son suelos aluviales donde el desarrollo se ve obstaculizado por las repetidas deposiciones de sedimento. Se los halla en valles y en deltas fluviales, especialmente asociados a ríos que cargan mucho sedimento. Son suelos muy fértiles cuyo principal uso es la horticultura, aunque pueden sustentar cualquier tipo de vegetación. La mayoría de los sedimentos aluviales estratificados en el perfil de los Fluvents derivan de los suelos erosionados de los que proceden, en este caso de la Cordillera de los Andes. Presentan un apreciable contenido de carbono orgánico, distribuido de manera irregular con la profundidad pero que debe mantenerse por encima del 0,2% a una profundidad de 125 cm (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2014). A su vez, el prefijo “torri” proviene del régimen de humedad del suelo. Los suelos arídicos o torricos están secos más de la mitad del tiempo acumulativo del año en el cual la temperatura, hasta 50 cm de profundidad, es mayor a 5°C y está húmedo, todo o una parte, menos de 90 días consecutivos, cuando la temperatura del suelo, a 50 cm de profundidad, es mayor a 8°C. Estas condiciones de humedad se presentan fundamentalmente en climas áridos y semiáridos.

Con respecto a la textura del suelo en el área de estudio, se puede decir que esta es franco-arenosa (Riu & Settepani, 2004), lo cual se condice con su clasificación taxonómica⁶. No presenta salinidad elevada (1,552 dS/m) ni presencia de clastos y muy poco yeso. Tiene un alto contenido de potasio (356ppm), contenido medio de fósforo (4,5 ppm) y de nitrógeno (638 ppm) (Riu & Settepani, 2004).

1.5 Fito y zoografía

En el área de estudio la vegetación predominante está asociada a los cultivos ya que se trata de una región de oasis irrigado. Sin embargo, con respecto a la vegetación autóctona es importante destacar que este área pertenece a la provincia fitogeográfica denominada “del monte”, la cual se caracteriza por tener naturalmente una vegetación pobre. A nivel departamental se pueden asociar las especies predominantes al tipo de sustrato. Hacia el este se puede identificar la presencia de fisionomías de tipo algarrobal (algarrobo dulce, jarilla, zampa, altamisqui, pastos duros y xerofilosos). Por otro lado, los chañares ocupan los suelos de cubierta arcillosa y subsuelo arenoso. En zonas salitrosas se encontraban bosques de tamarindos, los cuales fueron diezmados a causa de la predación antropogénica y de los incendios. En la región central del departamento se desarrollan especies como la jarilla, uña de gato, romerillo, altamisa, brea y retama. En las Huayquerías, regiones desérticas de tierras pobres, aparecen chañares, bejucos, sandía del zorro y tassí. En las márgenes del río Tunuyán se encuentran comunidades hidrófilas: carrizo, totora, cortaderas y junco.

superficie del terreno. Los horizontes genéticos son definidos principalmente en términos de génesis del suelo (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2014)

⁶ Los entisoles son suelos que en gran medida tienen una textura moderadamente gruesas (franco arenoso).

Con respecto a la fauna de la región, vale destacar que se encuentran numerosas especies de mamíferos (comadreja, zorros, vizcachas) y aves (lechuza, jote, caranchos, teros). También hay una importante variedad de ofidios e invertebrados (Municipalidad de Rivadavia, 2018).

1.6 Riesgos ambientales

1.6.1 Sismicidad

En la Argentina el organismo responsable de llevar a cabo la Política Nacional de Prevención Sísmica es el Instituto Nacional De Prevención Sísmica (INPRES). Este se encarga principalmente de estudiar los fenómenos sísmicos a nivel nacional y de desarrollar y actualizar los reglamentos argentinos para construcciones sismorresistentes.

En base a los estudios sobre distribución de actividad sísmica y la información estadística recopilada, el INPRES elaboró un mapa de zonificación sísmica del país. En este se identifican cinco zonas de peligrosidad sísmica, las cuales están asociadas a diferentes grados estimados de la aceleración máxima del suelo que puede provocar un terremoto (valores considerados en los cálculos de las construcciones sismorresistentes). A mayor aceleración del terreno mayor es el peligro sísmico.

En la Figura 7 del Anexo 2 se puede observar un mapa de zonificación sísmica acotado al territorio de la Provincia de Mendoza. El área de estudio se encuentra en la zona de peligrosidad sísmica más elevada, zona 4, en la cual la aceleración máxima ronda los $0,35 g^7$. Es de suma importancia tener en cuenta esto ya que de acuerdo a la zona en donde se encuentre emplazada la obra son los requerimientos para construcciones sismorresistentes⁸ que debe cumplir, siendo más estrictos aquellos que corresponden a la zona 4. Además de la actividad sísmica del sitio de emplazamiento, el reglamento clasifica a las construcciones según su destino y funciones, asignándoles un "factor de riesgo" que puede interpretarse como un porcentaje adicional de seguridad de acuerdo con el uso de la construcción. De esta forma se contempla la necesidad de que, ante la ocurrencia de terremotos destructivos, las construcciones esenciales puedan seguir funcionando sin ningún tipo de daño.

1.6.2 Contaminación de aguas subterráneas

En los ambientes de oasis de la Provincia de Mendoza existen varias problemáticas de contaminación de los recursos hídricos. La más relevante y que afecta de manera directa al área de estudio es la salinidad en las aguas subterráneas. La salinización del agua subterránea se debe principalmente a la sobre explotación del acuífero para uso agrícola y, en parte, a la existencia de pozos defectuosos.

En la cuenca Norte, en el primer nivel de explotación la salinidad se relaciona con las percolaciones de los excedentes de riego y a la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno. El agua

⁷ Esta aceleración del terreno se expresa en unidades de "g", siendo "g" la aceleración de la gravedad.

⁸ Reglamento INPRES - CIRSOC 103

utilizada para riego arrastra las sales precipitadas en los suelos incrementando la salinidad de la capa freática, lo cual en consecuencia genera el ascenso de su nivel hidráulico, favoreciendo el ascenso capilar y la concentración por evaporación. La salinidad de las aguas subterráneas del segundo nivel de explotación proviene de la intrusión de las aguas del primer nivel, debido al proceso de filtración vertical descendente característico de los acuíferos semiconfinados, y de la transmisión a través de pozos mal construidos. El tercer nivel no cuenta con niveles altos de salinidad, por lo cual se considera que en mantiene las condiciones hidroquímicas naturales. En las Figuras 8, 9 y 10 del Anexo 2 se pueden ver detalladamente los valores de salinidad expresados en $\mu\text{mho/cm}$ en los distintos niveles de explotación. Un resumen de los valores de conductividad eléctrica en el área de estudio se expone en la Tabla 8.

Nivel de explotación	Conductividad eléctrica ($\mu\text{mho/cm}$)
Primer nivel (80 m)	3000
Segundo nivel (100-180m)	1800
Tercer nivel (>200m)	1200

Tabla 8: Valores de conductividad eléctrica en el área de estudio. Fuente: (Auge, 2004)

La zona de acuífero libre de la Cuenca Norte se ve amenazada por otros tipos de contaminación, los cuales no se observan directamente en el área de estudio, ya que esta se encuentra en la zona de acuífero confinado/semiconfinado. Sin embargo, debido a la proximidad del área de estudio con el límite entre estas zonas (aproximadamente 30km) es importante tener en cuenta estas problemáticas. Una de ellas está asociada a la alta concentración de nitratos, lo cual se debe a la disposición de excretas animales y de residuos sólidos. Esta situación hace que el agua del primer nivel de explotación la zona del Departamento Capital hasta el comienzo del acuífero confinado/semiconfinado sea no potable.

A su vez, hay que mencionar la contaminación relacionada con la actividad petrolera que afecta a la subcuenta El Carrizal, a 90 km del área de estudio. Esta actividad genera grandes cantidades de sales y otros compuestos contaminantes como los hidrocarburos, metales pesados y sustancias radiactivas. Los contactos con las aguas subterráneas se producen debido situaciones de derrames o infiltraciones de las aguas saladas de separación provenientes de los yacimientos.

1.7 Organización del territorio

En la Provincia de Mendoza la estructuración del territorio es producto de un modelo de desarrollo agroindustrial. Las inversiones públicas y privadas favorecieron el modelo de ocupación en oasis, proveyendo a estas zonas de infraestructura, transporte, equipamiento y servicios. Esto fue generando una gran concentración de la población y, en consecuencia, de la actividad económica en las zonas de oasis, las cuales disminuyen hacia las zonas rurales no irrigadas.

Los componentes del sistema de oasis que lo diferencian de los otros espacios mendocinos son: una neta economía agroindustrial, un paisaje muy parcelado, una red de circulación densa y eficiente, una población que suma el mayor porcentaje de la provincia, una subdivisión

administrativa acentuada en el oasis norte, y la existencia de las jerarquías urbanas superiores, cuya irradiación excede los límites provinciales.

El caso de la Ciudad de Rivadavia no es una excepción, como se observa en la Figura 6 esta se encuentra rodeada de tierras rurales. En esta área, perteneciente al tramo inferior de la cuenca del Rio Tunuyán, la principal actividad agrícola es la producción vitivinícola. Existen grandes extensiones de viñedos y hay una buena infraestructura de elaboración vínica y de procesamiento de uvas de mesa.

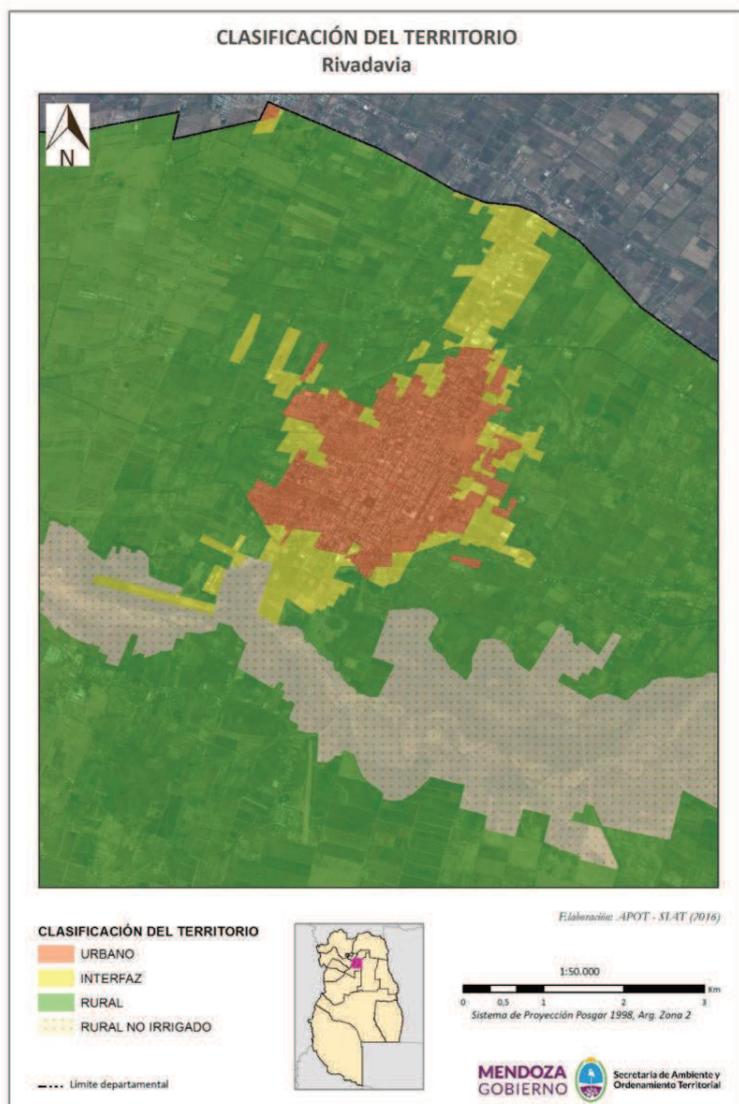


Figura 6: Mapa de Organización del Territorio del Área de Estudio. Fuente: APOT-SIAT (2016)

La densidad de población de las zonas aledañas al ED es muy baja, de entre 10 y 200 hab/km² como se puede observar en la Figura 7. En la ciudad de Rivadavia se registran zonas con más de 8000 hab/km².

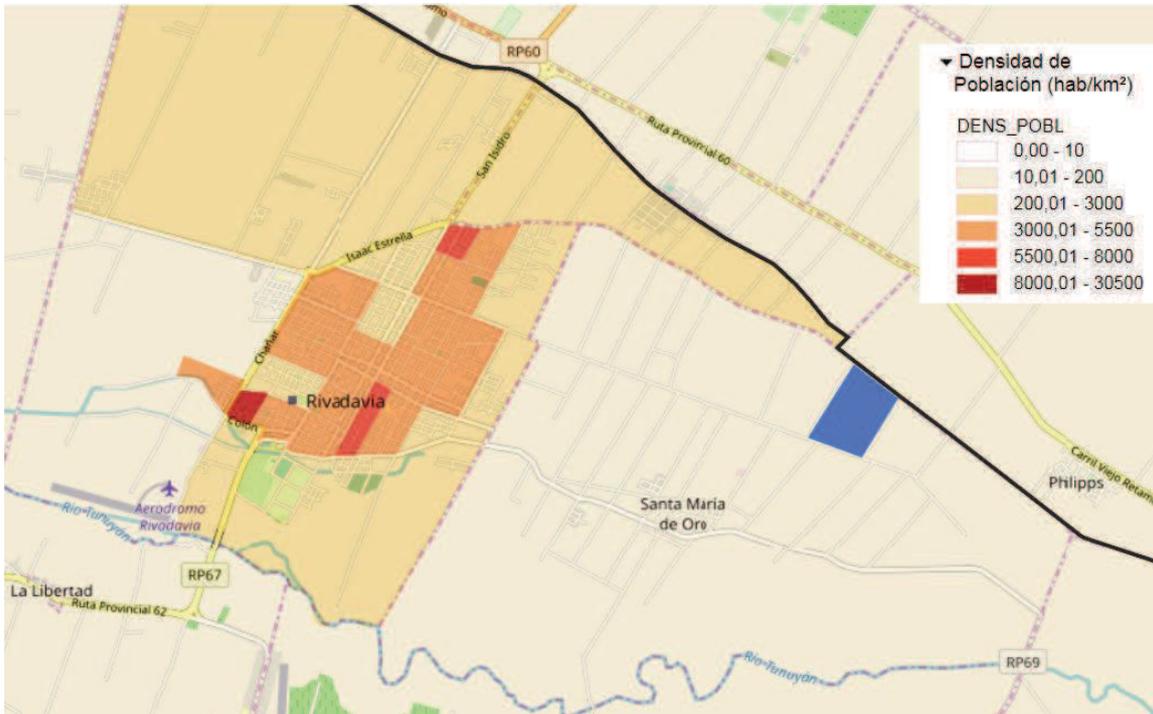


Figura 7: Densidad de población en el área de estudio. En azul se destaca la zona del ED de Rivadavia. Fuente: Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas, Provincia de Mendoza, elaboración propia.

2. Marco normativo

El proyecto de tratamiento y reutilización de los efluentes líquidos generados en la Ciudad de Rivadavia cumple en todo momento con la normativa provincial pertinente. A continuación se hará un resumen de dicha normativa, especificando los aspectos a tener en cuenta en las próximas etapas del proyecto.

LEY General del Ambiente Nº5961

El objetivo de esta ley es garantizar la preservación del medio ambiente en la Provincia de Mendoza. Declara de interés provincial la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, lo cual debe ser llevado a cabo través del ordenamiento territorial y la planificación de los procesos de urbanización, poblamiento, industrialización, explotación minera y agrícola ganadera. También establece los principios básicos de la política ambiental de la provincia.

Esta ley incorpora el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como requerimiento para todos los proyectos, obras o actividades capaces de modificar, directa o indirectamente, el ambiente del territorio provincial. Estos deberán obtener una Declaración de

Impacto Ambiental (DIA) expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda o por las Municipalidades de la Provincia. La ley establece que las etapas de un procedimiento de EIA son las siguientes:

1. La presentación de la Manifestación General de Impacto Ambiental
2. La audiencia pública de los interesados y afectados
3. El dictamen técnico
4. La Declaración de Impacto Ambiental

Complementando esta normativa, el Decreto provincial 2109/94 reglamenta el procedimiento de EIA. En este decreto se determinan los contenidos mínimos de la Manifestación General de Impacto Ambiental y se establece la necesidad de vigilancia y control posterior a la obtención de la DIA.

Con respecto a las obras y proyectos que deben ser sometidas a un proceso de EIA, estas se encuentran especificadas en el Anexo de la ley, haciendo distinción entre aquellas cuya autoridad de aplicación debe ser provincial o municipal. Las obras de conducción y tratamiento de aguas se encuentran mencionados en el inciso 1 del Anexo, lo cual implica que la autoridad a cargo del EIA debe ser provincial, es decir el Ministerio de Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda. Esto se ratifica con el Decreto 1452/2003, en el cual se establece de forma más detallada las obras de provisión de agua potable y saneamiento que requieren de un EIA en el art. 1 de dicho decreto se encuentran especificadas las siguientes:

- Construcción de establecimientos depuradores
- Ejecución de áreas controladas de reúso de efluentes sanitarios correspondientes a las denominadas Áreas de Cultivos Restringidos (A.C.R.E.)
- Ampliación de la Capacidad de Tratamiento de Establecimientos Depuradores
- Modificación del Sistema de Tratamiento de Establecimientos Depuradores

Ley Nº 6044

Impone obligaciones tales como la de procurar el aprovechamiento integral, racional y eficiente, dentro del marco del desarrollo sustentable, del recurso hídrico. A su vez, establece que todo vertido o vuelco de sustancias a los cuerpos receptores deberá contar con el pertinente tratamiento, a fin de evitar la degradación de las aguas.

Los análisis de aguas seguirán las técnicas que indican el Ente Provincial del Agua y Saneamiento (EPAS).

Resolución 778/96 HTA del DGI - Reglamento General Para El Control De Contaminación Hídrica

Regula el vertido de efluentes líquidos, ya sea de efluentes industriales como cloacales. Establece que los establecimientos generadores de dichos efluentes deberán contar con un sistema de tratamiento adecuado para ajustarse a los requerimientos establecidos en esta resolución. Determina dos tipos de disposición final:

- Vuelco directo: vuelco a cauce
- Vuelco indirecto: reuso agrícola, retirada con camión, evaporación en piletas impermeabilizadas

Con respecto a los parámetros de vuelco, estos fueron establecidos en el Anexo I de esta resolución, pero sin hacer distinción entre los vuelcos directos e indirectos. Se hizo una actualización de los mismos con la Resolución 627/00 del HTA, en la cual además se distinguen los parámetros para reuso agrícola.

A su vez, establece que todos aquellos establecimientos de quienes verter efluentes a un cuerpo receptor de dominio público deberán obtener una autorización, a la cual se la denomina Permiso de Vertido y es otorgada por el Superintendente del Departamento General de Irrigación. Estos establecimientos deberán estar inscriptos en el R.U.E (Registro Único De Establecimientos) y se verán afectados por los regímenes tributarios y sancionatorios establecidos en la resolución.

Se distinguen dos grupos de establecimientos generadores de efluentes líquidos, en base a los cuales son fijadas la periodicidad y tipo de controles, plazos de tratamientos y las sanciones en razón de la mayor o menor diligencias o previsiones tomadas. Los establecimientos depuradores de efluentes cloacales pertenecen al grupo dos, es decir a aquellos establecimientos que manipulan u operan elementos o sustancias de características tóxicas o peligrosas. Estos deberán informar al DGI, con una periodicidad no mayor a un bimestre, la calidad de sus efluentes debidamente certificada por un laboratorio reconocido y siguiendo las técnicas de análisis que indica en la tabla de parámetros límites en los parámetros que le señale el Departamento General de Irrigación.

Es importante mencionar que esta resolución prohíbe la dilución de los efluentes y la mezcla de efluente cloacal con efluente industrial.

Resolución 400/03 del HTA del DGI - Reglamento General de ACRE

Es la normativa principal que regula reuso de efluentes tratados para irrigación, actualizando y completando lo introducido por la Resolución 627/00 del HTA. Define de manera más clara la funcionalidad de los ACREs, estableciendo la obligatoriedad de llevar a cabo la práctica de reuso dentro de estas tierras de manera sustentable y prohibiendo que las aguas de reuso sean derramadas o conducidas fuera de los límites de las mismas.

Las autoridades de aplicación de esta práctica son el DGI y la Inspección de Cauce del ACRE. Estos tienen a su cargo todas las funciones que relacionadas con la administración, gobierno, fiscalización y funcionamiento del sistema hídrico que conforma el ACRE, incluyendo la aplicación de la dotación en los sistemas de riego. Puntualmente, la Inspección deberá controlar distribución y el volumen de las aguas provenientes de la Planta Depuradora en los puntos de vuelco a ACRE, asegurándose que se realice dentro del perímetro establecido. También verificará que cumplan las normas con respecto a los cultivos autorizados por el Departamento General de Irrigación. En caso

de observar algún incumplimiento, la Inspección será la responsable de aplicar las sanciones detalladas en esta resolución.

Los propietarios de las tierras en las cuales se practique el reuso, sean públicas o privadas, son llamados regantes de ACRE. Estos deben cumplir con el reglamento de esta resolución y con toda normativa referente a seguridad e higiene laboral, según las disposiciones de las respectivas autoridades competentes.

Con respecto al dimensionamiento de las ACRE, este dependerá de los caudales de salida del Establecimiento Depurador, buscando que el aprovechamiento del agua tratada sea óptimo y que, en lo posible, no existan otros puntos de vuelco fuera del ACRE.

El Reglamento también determina cuales son los métodos de riego permitidos. Estos se enumeran a continuación:

- Por melgas sin pendiente: El riego se ejecuta en sectores delimitados por bordes de tierra, con la lámina de agua necesaria para irrigar el área seleccionada, evitando su salida a sectores aledaños.
- Por surcos sin desagüe al pie: Se distribuye el líquido mediante surcos, evitando la existencia de desagües. Se debe evitar el anegamiento de sectores próximos a los surcos, permitiendo la circulación de personas y equipos sin tomar contacto con los líquidos.
- Por riego subsuperficial: Se distribuye el agua de reuso por sistemas de tuberías enterradas que saturan el perfil de las raíces de los cultivos, evitando generar una infiltración excesiva hacia el subsuelo.
- Por riego localizado: A través de tuberías o cintas con emisores para goteo, procurando generar una banda húmeda al pie de las plantas.

Al mismo tiempo, se prohíbe el riego por aspersión, pivote o cualquier método similar que proyecte el efluente hacia la atmosfera.

Por último, con respecto a los límites de vuelco, es importante destacar que estos están relacionados con los el nivel de tratamiento, que a su vez determina el tipo de cultivo permitido. La resolución establece dos categorías de cultivos:

- Categoría A: se utilizan efluentes con tratamiento primario. Estos son cultivos no aptos para consumo humano, cultivos forrajeros recolectados y secados al sol antes de ser consumidos por animales o cultivos cuyas frutas, hojas, bulbos, tallos y tubérculos obligatoriamente necesiten procesos industriales que aseguren la destrucción de agentes patógenos antes del consumo humano.
- Categoría B: se utilizan efluentes con tratamiento secundario. Son básicamente los cultivos que producen frutas, tubérculos, bulbos, tallos y hojas que se pelan o cocinan antes de ingerirse, o que están sujetos a un período de estacionamiento antes de su consumo.

Los parámetros a controlar en irrigación de cultivos dentro de la categoría B se encuentran en la Tabla 1 del Anexo 2. Las muestras de efluente tratado se analizarán en los puntos de vuelco establecidos para cada ACRE.

CAPITULO 3: Reutilización de los efluentes líquidos tratados para irrigación

1. Introducción

Uno de los principales objetivos del proyecto es asegurar la reutilización de los efluentes cloacales tratados para irrigación en ACRES. Esta práctica, conocida como sistema de tratamiento natural de baja carga, contempla la aplicación del agua residual sobre un terreno con vegetación para conseguir tanto el grado necesario de tratamiento del agua residual como el crecimiento de la vegetación existente (Metcalf & Eddy, 1995).

Existen dos tipos de sistemas de baja carga según el objetivo que se busca alcanzar. Los sistemas de Tipo 1 tienen el foco puesto en asegurar el tratamiento de los efluentes y la carga hidráulica⁹ aplicada no depende de las necesidades de agua de los cultivos. Los sistemas de Tipo 2 en cambio buscan asegurar el crecimiento y la productividad de los cultivos, de manera que el foco está puesto en las necesidades hídricas de los cultivos, las cuales en este caso deberán ser parcial o totalmente cubiertas con el efluente tratado. En este caso el sistema adoptado es de Tipo 2, sus principales características se describen en la Tabla 9.

Característica	Sistema de baja carga – Tipo 2
Limitaciones climáticas	Suele ser necesario disponer de instalaciones de almacenamiento durante las lluvias y en tiempo frío
Profundidad hasta el nivel freático	0,6-0,9 m (mínimo)
Pendiente	Inferior al 15 por 100 en terrenos cultivados
Permeabilidad del suelo	De moderadamente baja a moderadamente alta
Técnicas de aplicación	Aspersión o superficial (Incluye riego por surcos y amelgas)
Carga hidráulica anual	0,6-2,0
Superficie necesaria, ha/10 ³ m ³ /d ¹	18,2-58,8
Pretratamiento mínimo necesario	Sedimentación primaria
Evacuación del agua residual aplicada	Evapotranspiración y percolación

Tabla 9. Características de los sistemas de baja carga Tipo 2. ¹ La superficie necesaria no incluye la zona de amortiguación, ni los accesos y zanjas. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Una de las maneras de estimar las necesidades de riego de un cultivo en un determinado medio es llevando a cabo un balance hídrico del sistema. Este permite determinar qué parte de las necesidades de agua serán cubiertas por la lluvia y qué necesidad de riego existe a lo largo del ciclo del cultivo.

En este proyecto el balance hídrico realizó mediante el software CROPWAT 8.0, el cual fue diseñado en base a la metodología propuesta por la FAO (método FAO Perman-Monteith) y

⁹ La carga hidráulica, o dotación de riego, es el volumen de agua aplicado por unidad de superficie del terreno en un determinado periodo de tiempo. (Metcalf & Eddy, 1995)

permite estimar los requerimientos de agua de los cultivos y diseñar programas de riego. Las especies contempladas para la simulación fueron: vid, álamo y olivo. La elección de las especies fue hecha teniendo en cuenta los cultivos presentes en la zona, para las cuales además se encontraron antecedentes de experiencias de riego con efluentes cloacales tratados. Es importante mencionar que, debido a que el cultivo de vid solo es irrigado entre los meses de primavera y verano, se planteó una organización de riego en la cual existe una alternancia de cultivos: los efluentes se utilizarían para regar los cultivos de vid en primavera y verano y las plantaciones de olivo y álamo durante los meses de otoño e invierno.

Para implementar esta práctica de manera sustentable se desarrolló entonces un plan de reutilización que contempla los cultivos a desarrollar, los caudales aplicables y la superficie de tierra necesaria, entre otras cosas. En todo momento se asegurará que la totalidad de los efluentes provenientes del ED sean utilizados para riego ya que, según lo establece la normativa, está prohibido que las aguas de reuso sean derramadas o conducidas fuera de los límites del ACRE. Además es importante destacar que, aunque los efluentes tratados podrían descargarse en el Río Tunuyán, en la provincia de Mendoza se busca tratar de evitar esta práctica debido a la fragilidad de los sistemas hídricos, por lo cual esta no fue una opción a contemplar.

A continuación se describe entonces el marco teórico sobre el cual se basa la simulación que se hizo con software CROPWAT. Posteriormente se detalla cómo fue el proceso en sí y cuáles fueron los resultados obtenidos con los que se elaboró el plan de reutilización de los efluentes cloacales tratados.

2. Balance hídrico agrícola

El balance hídrico, al igual que cualquier balance de materia, establece que los ingresos menos los egresos deben ser equivalentes a la acumulación en el sistema. Existen diferentes tipos de balances hídricos: climáticos, agrícolas, hidrológicos, de cuencas, de drenaje, entre otros. El balance hídrico agrícola permite determinar la necesidad de agua del cultivo y en consecuencia los requerimientos de riego. Los componentes básicos de este tipo de balance en un suelo cultivado se especifican en la siguiente ecuación:

$$\Delta D_r = R + P + CR - ES - I - ET \quad Ec.(1)$$

Dónde:

ΔD_r : Variación en el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo

R : Riego

P : Precipitación

CR : Ascensión capilar

ES : Escorrentía

I : Infiltración

ET : Evapotranspiración

La precipitación junto con el riego y la ascensión capilar son las entradas de agua al sistema. Las salidas son la evapotranspiración, la infiltración hacia capas de suelo más profundas y la escorrentía. Los cambios de la humedad del suelo se expresan como variación en el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo.

A continuación se describen los diferentes elementos del balance hídrico agrícola, haciéndose un especial énfasis en el procedimiento para obtener el valor de *ET* ya que este es el eje central del método FAO Perman-Monteith.

2.1. Precipitaciones

Las precipitaciones pueden satisfacer de manera total o parcial los requerimientos hídricos de los cultivos a lo largo del ciclo del mismo. Es importante entonces determinar qué porcentaje de las necesidades de agua es cubierto por las precipitaciones. Para poder lograr esto es necesario hacer un análisis estadístico a partir de series de datos históricos ya que las precipitaciones en una determinada área geográfica suelen presentar gran variabilidad a lo largo del tiempo. Para llevar a cabo esto se necesita los registros de las precipitaciones de una serie de entre 15 y 30 años.

Como el balance se calcula para determinar necesidades de riego, es necesario analizar tanto los resultados para condiciones promedio como para los esperados en un año seco. Por lo general se considera una probabilidad excedencia de precipitaciones del 80% para representar un año seco.

2.2. Evapotranspiración

La evapotranspiración (*ET*) es la combinación de dos procesos separados por los cuales un sistema pierde agua a través de la superficie del suelo por evaporación y a través de la vegetación por transpiración. En el caso de un balance hídrico agrícola, la *ET* se relaciona con el uso consuntivo del agua por parte de los cultivos.

Los principales factores que influyen en este fenómeno son:

- Las variables climáticas: los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento
- El tipo de cultivo: la variedad y la etapa de desarrollo determinan las diferencias en la resistencia a la transpiración, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares
- El manejo y las condiciones ambientales: la salinidad, la baja fertilidad del suelo, el uso limitado de fertilizantes, la presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, la ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo

La estimación de la *ET* se puede realizar con diferentes métodos directos (mediciones de campo), o indirectos (ecuaciones empíricas). El método indirecto más recomendado para estimar la *ET* es la adaptación propuesta por la FAO del método Perman-Monteith. Este se basa en la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad Ec.(2)$$

Dónde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar

K_c : Coeficiente del cultivo

ET_0 : Evapotranspiración de referencia

La ET_0 expresa el poder evaporante de la atmósfera en lugar y época del año determinado, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo¹⁰. Esta se calcula para un cultivo de referencia hipotético de 0,12m de altura, con una resistencia de la superficie de 70s/m y un albedo de 0,23m, el cual no sufre restricciones de agua y crece activamente. La unidad con la que se mide es milímetros (mm) por unidad de tiempo.

Una de las principales ventajas del método FAO Perman-Monteith es que permite calcular la ET_0 utilizando datos climáticos estándar, de manera que la ET_0 refleja los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo. Se utilizan valores de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Es importante destacar que la ecuación de Penman-Monteith ha sido ampliamente evaluada y aceptada por la comunidad científica nacional e internacional por presentar el menor error estándar y por ser la que más se ajusta a diferentes latitudes y climas (Cleves Leguizamo, Martínez Bernal, & Toro, 2016). Los detalles de esta ecuación se encuentran en el Anexo 3.

Por otra parte, el K_c introduce en el cálculo los efectos de las características físicas y fisiológicas específicas de cada cultivo. Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de los estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia bajo las mismas condiciones climáticas (FAO, 1998).

Los valores de K_c se deben determinar experimentalmente y dependen de las características de suelo en el cual se realizaron las mediciones. Es por esto que, a pesar de que los valores de K_c para diversos cultivos están disponibles en la base de datos de la FAO, es recomendable utilizar valores de K_c estimados localmente. A su vez, debido a las variaciones en las características del cultivo durante los diferentes periodos de crecimiento, el valor de K_c para un determinado cultivo cambia desde la siembra hasta la cosecha, por lo cual suelen utilizarse tres valores de K_c . Existen dos enfoques para la determinación del K_c , el primero relaciona la ET_0 con la ET_c a través de un único factor, y el segundo propone un K_c dividido en dos factores que describen por separado los componentes de la evaporación K_e y la transpiración K_{cb} (coeficiente de cultivo basal).

Con los valores de K_c y ET_0 se calcula entonces la ET_c , la cual refiere a la evapotranspiración de un determinado cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la

¹⁰ Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET_0 (FAO, 1998)

máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes (FAO, 1998). En la Figura 8 se muestran todos los fenómenos y factores que se tienen en cuenta para el cálculo de ET_c .

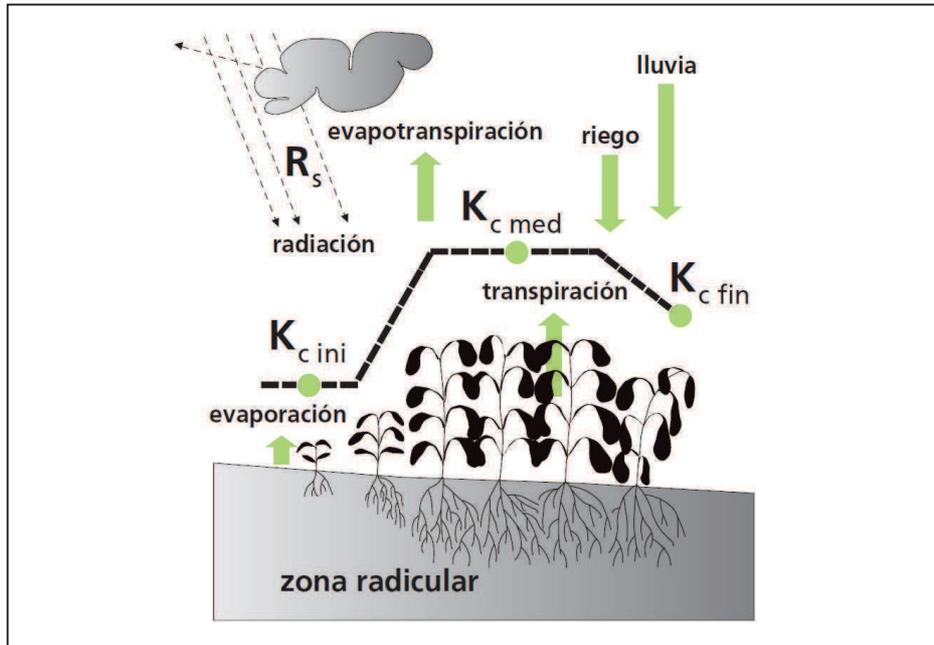


Figura 8: Representación esquemática del modelo de evapotranspiración a lo largo del ciclo del cultivo. Fuente: FAO

El valor de ET_c puede adaptarse para situaciones en las cuales las condiciones de campo difieren de las condiciones estándar. Para esto se utilizan factores de ajuste que reflejan el efecto del ambiente y del manejo de la tierra. De esta forma es posible calcular el valor de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ($ET_{c\ aj}$).

Las condiciones no óptimas más comunes son la presencia de plagas y enfermedades, la elevada salinidad del suelo, la baja fertilidad del suelo y la limitación de agua, la cual genera una situación de estrés hídrico. Todo esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas y una menor densidad de la vegetación, lo cual viene asociado a una tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ET_c .

Puntualmente para el caso de estrés hídrico, es posible determinar un coeficiente de estrés hídrico K_s para obtener el valor de $ET_{c\ aj}$. En los suelos secos el agua tiene una energía potencial baja, siendo retenida fuertemente por las fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo, lo que hace más difícil su extracción por parte de las plantas. Esto se refleja en la reducción del valor del coeficiente del cultivo. Es por esto que en situaciones de estrés hídrico el K_s tiene un valor menor a 1.

El K_s debería incorporarse multiplicando al K_{cb} , ya que la falta de agua afecta netamente a la transpiración y no a la evaporación del suelo. Sin embargo, cuando se trabaja con un solo coeficiente unificado, es posible incluir el K_s de la siguiente manera:

$$ET_{c\ aj} = K_s \cdot K_c \cdot ET_0 \quad Ec.(3)$$

Para el cálculo de K_s es necesario incorporar los conceptos de agua disponible total (ADT), agua fácilmente aprovechable (AFA) y agotamiento de humedad en la zona radicular (D_r).

La lámina de ADT representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende de las características del suelo: textura, estructura y contenido de materia orgánica. Debido a que contenidos de humedad por encima de capacidad de campo¹¹ no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente¹² no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el ADT en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (FAO, 1998).

Cuando el suelo tiene suficiente humedad, la extracción del agua por parte de la planta será igual a la ET_c . Sin embargo, la cantidad de agua que el cultivo es capaz de extraer va disminuyendo a medida que se reduce la humedad en el suelo, incluso antes de alcanzar el punto de marchitez permanente. El límite a partir del cual la planta empieza a sufrir estrés hídrico está determinado por el AFA. En otras palabras, el AFA es la fracción de ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico. La relación ente ADT y AFA está dada por un factor llamado fracción de agotamiento p . Este factor representa entonces el nivel crítico de humedad en el suelo a partir del cual ocurre estrés hídrico. Los valores de p varían entre 0,4 y 0,6, siendo más bajos los valores para cultivos sensibles con sistemas radiculares superficiales en condiciones de alta evaporación, y valores más altos para cultivos densos, con raíces profundas y bajos índices de evaporación.

El contenido de humedad en la zona radicular se expresa en función del D_r , es decir que se lo estima como la cantidad de agua faltante con respecto a la capacidad de campo. Cuando el contenido de humedad es igual a la capacidad de campo, el agotamiento en la zona radicular es igual a cero ($D_r = 0$). Este va aumentando a medida que el agua es extraída del suelo y hasta que alcanza el mismo valor de AFA. En ese punto se inicia la situación de estrés hídrico. Después de que el agotamiento en la zona radicular excede el AFA, el agotamiento del agua será lo suficientemente alto como para limitar la ET , por lo que esta comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular.

Las relaciones ente el K_s , ADT , ADF y D_r se observan en la Figura 9.

¹¹ La capacidad de campo representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, es decir la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente.

¹² El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad en el suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente.

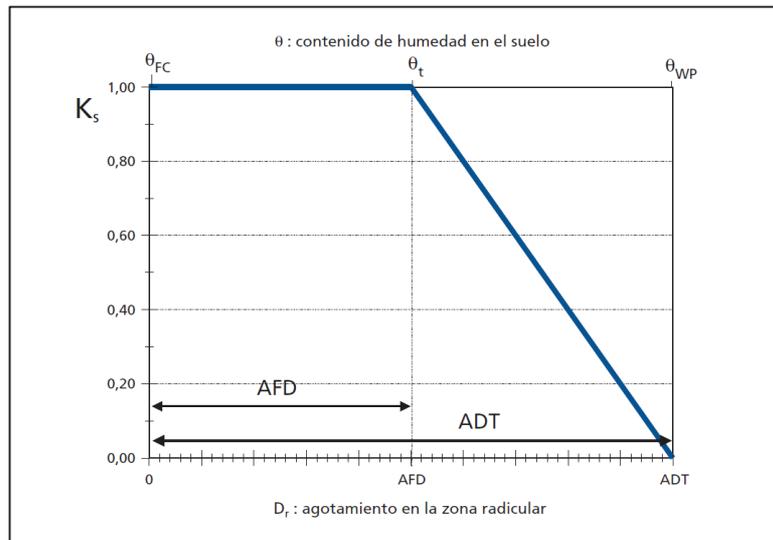


Figura 9: Coeficiente de estrés hídrico en función de agotamiento en la zona radicular. θ_{FC} es el contenido de humedad a capacidad de campo y θ_{WP} es el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente. Fuente: FAO,1998

De esta forma, cuando $D_r > AFA$, es posible calcular el K_s con la siguiente ecuación lineal:

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1-p)ADT} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

K_s : Coeficiente de estrés hídrico [0 - 1],

D_r : Agotamiento de humedad en la zona radicular [mm],

ADT : Agua disponible total en la zona radicular del suelo [mm],

p : Fracción de la ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico [-].

2.3. Ascenso capilar

Se conoce como ascenso capilar (CR) al fenómeno por el cual el agua de capa freática se desplaza hacia la zona radicular. Esto depende del tipo de suelo, de la profundidad del nivel freático y del contenido de humedad en la zona radicular. Cuando el nivel freático está a más de un metro por debajo de la zona radicular, se considera que CR es igual a cero¹³.

2.4. Infiltración

Luego de una lluvia intensa o el riego, el contenido de humedad del suelo puede superar la capacidad de campo. Sin embargo, para esta metodología se considera que la máxima cantidad de

¹³ Este es el caso para la área de estudio ya el nivel de la napa freática es de 10m y las raíces no suelen superar los 2m de profundidad.

agua retenida en el suelo es la capacidad de campo, por lo que el agotamiento luego de una lluvia o del riego es igual a cero ($D_{r,i} = 0$).

Por lo tanto, en estas circunstancias la infiltración (I) se puede calcular como:

$$I = (P - ES) + R - ET - D_{r,i-1} \geq 0 \quad \text{Ec. (5)}$$

Cuando el contenido de humedad del suelo se encuentre por debajo de la capacidad de campo, $D_{r,i}$ será mayor que cero y no existirá I .

2.5. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial (ES) se genera cuando la intensidad de la precipitación es elevada, a tal punto que supera la capacidad de infiltración del suelo. Este parámetro se calcula en base a la tasa máxima de infiltración, la cual representa la lámina de agua que pueden infiltrar en el suelo en un período de 24 horas. Esta depende del tipo de suelo, pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego. Para el caso de caso de precipitaciones escasas, se puede asumir que la ES es nula (FAO, 1998).

3. Especies a cultivar

Como se especificó anteriormente, las especies elegidas para la simulación con CROPWAT son vid, álamo y olivo. Estas fueron elegidas en base a la producción agrícola que se da en la zona y teniendo en cuenta experiencias previas con el reuso de efluentes en ACRES.

El clima y los suelos de la cuenca del Río Tunuyán Inferior son favorables para la producción de viñedos de alta productividad (71%). Al mismo tiempo, se aprovechan para el cultivo de frutales (12%) y olivos (6%). La subcuenca del Río Tunuyán Inferior cuenta con 84.283 ha empadronadas para riego superficial y también hace uso intensivo del agua subterránea que, en forma exclusiva, irriga 17.545 ha del total cultivado (Departamento General de Irrigación, 2016).

Los cultivos de vid tiene como destino principal la elaboración de vinos y mostos. Otros usos que se dan en la región son el consumo directo, el cual no se podría realizar en este caso, y la producción de pasas de uva.

Por otro lado, los árboles de álamos se utilizan para formar barreras forestales que dividen de las fincas y protegen a los cultivos principalmente de la acción del viento. También se los utiliza para la fabricación de cajones de frutas.

Los frutos de los olivares, en su mayoría compuestos por árboles antiguos, se destinan a la comercialización directa o a la producción de aceite de oliva.

Es importante mencionar que de las tres especies el más sensible a la salinidad en el suelo es la vid, seguido del olivo (FAO, 2002). El umbral de salinidad a partir del cual esta empieza a afectar el crecimiento de la vid es de 1,5 dS/m, mientras que para el olivo es de 5 dS/m. Al superar este umbral el rendimiento de los cultivos comienza a disminuir. La salinidad del suelo en el área de

Rivadavia no es considerada como elevada, pero de todas formas debido a la sensibilidad de la vid y a las características climáticas que favorecen una elevada *ET*, la salinidad del efluente deberá ser monitoreada.

4. Evaluación del área de cultivo

El área en la cual se encuentran los ACREs que serán abastecidos por el ED de Rivadavia se encuentra al sur y al este del mismo. El canal que transporta los efluentes tratados recorre aproximadamente 5,6 km en dirección sureste. En la Imagen 4 se observa un plano de los actuales ACREs y su posición con respecto al ED. Lamentablemente no se pudieron encontrar los detalles de qué cultivos se desarrollan en cada uno de ellos.

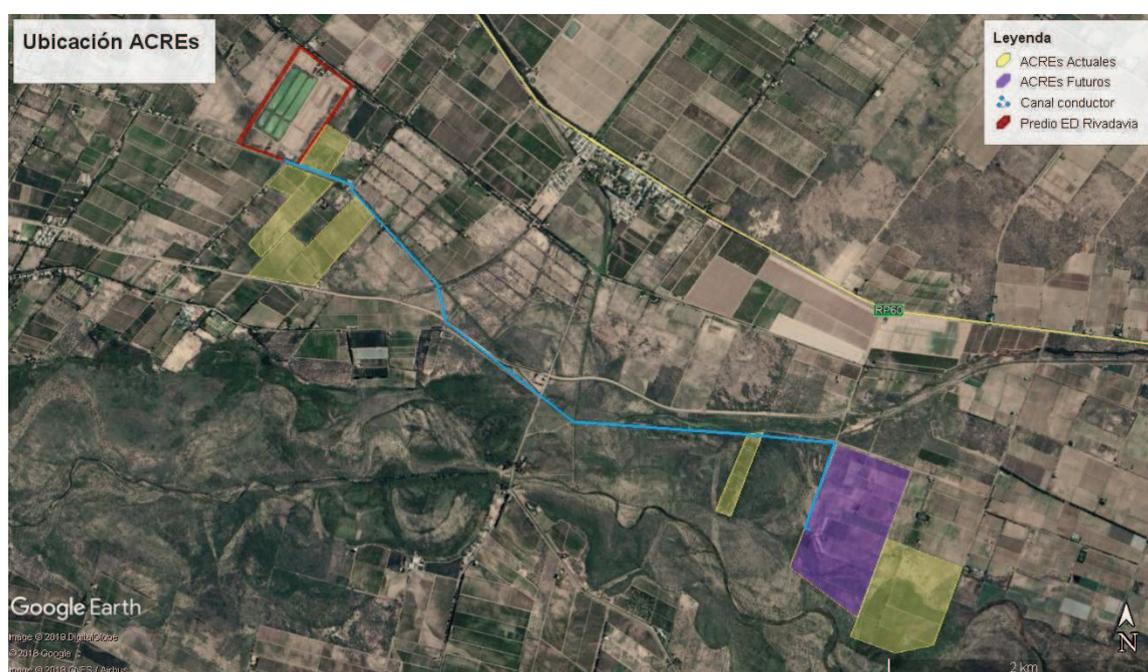


Imagen 4: Ubicación de los actuales ACREs. Fuente: Google Earth, elaboración propia con datos de la delegación AySAM Rivadavia.

Los sistemas de baja carga tienen ciertos requerimientos en cuanto a la aptitud de las tierras en las cuales se pueden emplazar. Los tres aspectos evaluados se observan en la Tabla 10.

Característica	Aptitud		
	Óptima	Conveniente	Pobre
Pendiente (%)	0-2	2-15	>15
Profundidad hasta el nivel freático (m)	>1,5	0,6-1,5	<0,6
Permeabilidad (mm/h)	5-50	1,5-5;50-150	<1,5;>150
Electroconductividad (mmhos/cm)	<4	4-8	>8

Tabla 10. Requerimientos de los terrenos para el emplazamiento de sistemas de tratamiento de baja carga. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

La pendiente del terreno se calculó utilizando un mapa topográfico del INA obtenido del documento *Modelación Hidrológica de la Cuenca Norte de Mendoza* (Ing. Hernández, Ing. Martinis, & Cdor. Fornero, 2012, pág. 71). El área donde se ubicarían los ACREs se encuentra entre las cotas de nivel de 650 y 640 msnm, con una distancia en dicho punto de aproximadamente 5km, lo cual da una pendiente del 0,2%. Este valor se encuentra dentro de los valores óptimos.

Con respecto a la profundidad al nivel freático, tomamos la información plasmada en el *Capítulo 3: Estudios Preliminares*, en la cual se detalla que la napa freática en el área de estudio se encuentra a 10m de profundidad, lo cual es un valor más que deseable. De este capítulo también se toma el valor de la electroconductividad encontrada en el suelo, la cual es de 1,552 mmhos/cm, la cual se encuentra dentro de los valores óptimos.

Por último, es necesario que evaluar la permeabilidad del terreno. Debido a que no se encontraron valores en la bibliografía específicos para este área, se tomó el valor de permeabilidad estimada para los suelos franco-arenosos, la cual es de 25 mm/h (FAO, 2018).

Se pudo concluir entonces de esta evaluación que el suelo es apto para implementar un sistema de baja carga.

5. Simulación con CROPWAT

5.1. Descripción del software

El software CROPWAT fue desarrollado en 1992 por la división Land and Water Development de la FAO. El modelo original del software se basa en los Paper 24 - Crop Water Requirements (1977) y Paper 33 - Yield Response To Water (1979) de la serie Irrigation And Drainage de la FAO. La versión más actualizada es del año 2009, CROPWAT 8.0, la cual incorpora la metodología para el cálculo de la evapotranspiración presentada en el Paper 56 Crop Evapotranspiration - Guidelines For Computing Crop Water Requirements (1998).

El software es ampliamente utilizado como una herramienta práctica ya que permite realizar las siguientes tareas:

- Calcular la evapotranspiración de referencia, la humedad del suelo inicialmente disponible y los requerimientos de agua de los cultivos
- Elaborar programas de riego y esquemas de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos

Está organizado en 8 módulos diferentes, 5 módulos de entrada y 3 módulos de cálculo. Estos se describen a continuación.

Clima/ETo

Permite ingresar datos climáticos mensuales, diarios o decadiarios de la zona. Los campos requeridos son: ubicación (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar), temperatura (máxima y mínima o media), humedad relativa, velocidad del viento e insolación. Con estos datos el

programa calcula automáticamente la radiación que llega a la superficie del suelo y la ETo con el método FAO Perman-Monteith. En caso de no contar con alguno de los valores de estas variables, el programa permite estimarlos en base a los datos de temperatura y latitud/altitud.

Precipitaciones

Al igual que en el módulo de clima, los datos de precipitaciones medias pueden ser mensuales, diarios o decadiarios. A su vez se debe seleccionar el método con el cual se desea que el programa calcule la precipitación efectiva (P_{ef}). Esta es la porción de precipitación que es retenida en la capa radical, almacenada en esa zona para ser usada en la evapotranspiración del sistema planta-suelo (Cleves Leguízamo, Martínez Bernal, & Toro, 2016). El valor de precipitación efectiva es utilizado para la estimación de los requerimientos de agua del cultivo (RAC).

El cálculo de P_{ef} se puede hacer con los siguientes métodos:

- Porcentaje fijo: la relación entre la P_{ef} y la precipitación real está dada por un porcentaje fijo elegido por el usuario
- Precipitación confiable (ecuación FAO/AGLW): ecuación empírica desarrollada por el Servicio de Aguas de la FAO para estimar la precipitación confiable como el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de probabilidad de excedencia) y las pérdidas estimadas debido a la escorrentía superficial y a la infiltración. Se utiliza para climas semiáridos y subhúmedos. Esta fórmula suele ser utilizada para diseño, en caso que se requiera el valor de la precipitación con 80 % de probabilidad de excedencia
- Fórmula empírica: permite utilizar las mismas fórmulas que para la precipitación confiable pero con la posibilidad de cambiar los parámetros, los cuales pueden ser determinados de un análisis de registros climáticos locales
- Método USDA: utiliza una ecuación desarrollada por la USDA Soil Conservation Service, es el método establecido por defecto en el programa

Cultivo

El módulo de cultivo es esencialmente para la introducción de datos. Los siguientes datos deben ingresarse de forma obligatoria:

- Fecha de siembra
- Coeficientes de cultivo (K_c) inicial, medio y final
- Duración de las etapas de desarrollo
- Profundidad radicular
- Fracción de agotamiento crítico (p)
- Factor de respuesta del rendimiento (K_y)¹⁴

¹⁴ El factor de respuesta de rendimiento estima las reducciones del rendimiento del cultivo debido a las restricciones de humedad. Es característico de cada cultivo.

La fecha de cosecha se calcula automáticamente en base a la fecha de siembra y de la duración total del ciclo de cultivo según la duración de las etapas de desarrollo ingresadas. Opcionalmente también se puede ingresar el valor de la altura del cultivo, el cual permite el ajuste de los valores del coeficiente de cultivo bajo condiciones no estándar, en particular cuando los valores de humedad relativa difieren considerablemente del 45% o cuando la velocidad del viento es mayor o menor que 2 m/s.

En el caso de los cultivos perennes, no se puede distinguir en cuatro etapas de crecimiento como propone el software. Sin embargo, los datos se pueden adaptar, considerando el K_c constante durante el año (cuatro etapas de 90 días) con fecha de siembra el 1º de enero o se pueden distinguir las etapas según las estaciones de crecimiento y seleccionarse una fecha de siembra conveniente. También se pueden adoptar K_c de verano y uno de invierno.

Suelo

En este módulo se deben ingresar los valores para los siguientes parámetros:

- Agua Disponible Total (ADT) (mm/m)
- Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/d)
- Profundidad radicular máxima (cm)
- Agotamiento Inicial de la humedad del suelo (%)

Una vez ingresados estos valores, el software calcula la humedad de suelo disponible inicialmente, la cual se define como el contenido de humedad del suelo al inicio de la temporada de cultivo. Se calcula como el producto del Agua Disponible Total (ADT) por el agotamiento inicial de humedad del suelo, y se expresa en mm por metro de profundidad de suelo.

Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC)

Este es el primer módulo de cálculo. Utiliza los valores ingresados en los módulos de Clima/ET_o, Precipitaciones y Cultivo para dar los requerimientos de riego del cultivo en base decadiaria (mm/dec) para toda la estación de crecimiento. El RAC se calcula como la diferencia entre la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) y la precipitación efectiva. Los resultados se presentan en forma de gráfico de barras.

El RAC representa la fracción de los requerimientos de agua del cultivo que necesita ser satisfecha a través del riego con el fin de garantizar las condiciones óptimas para desarrollo del mismo. Sin embargo, es importante destacar que este parámetro no toma en cuenta la contribución de agua del suelo al cultivo.

Programación

Este módulo permite desarrollar programas de cultivo adaptados a las condiciones operativas de la zona, evaluando la eficiencia de los mismos en términos de los usos de agua y productividad de la tierra cultivada. Los cálculos en este módulo están basados en el balance hídrico explicado

anteriormente, por lo cual en esta instancia es necesario haber completado los módulos de Clima/ETo, Precipitaciones, Cultivo y Suelos.

El programa devuelve en la parte superior de la pantalla una tabla que resume todos los parámetros calculados anteriormente, los cuales se utilizan para calcular los periodos de riego y la cantidad de agua necesaria en cada uno, representada a través de los valores de lámina bruta (mm). La tabla se puede tener dos formatos: programación de riego, en la cual se muestran los valores de las variables para las determinadas fechas de riego, o balance diario, la cual muestra los valores de los parámetros día a día, desde la fecha de siembra hasta la de cosecha.

El módulo de Programación permite configurar las opciones del momento del riego (relacionadas a cuando se aplicará el riego), la aplicación de riego (relacionadas con la cantidad de agua que se entregará en cada riego) y la eficiencia de riego expresada en porcentaje. Este último valor se utiliza para calcular la lámina de riego bruta.

Las opciones para el momento del riego son:

1. **Regar en intervalos definidos por el usuario:** permite especificar los intervalos de riego en términos "Días después de la siembra". Esta opción se utiliza para evaluar las prácticas de riego, para simular programaciones alternativas de riego y, en particular, para perfeccionar la programación de riego, desarrollada en otras opciones.
2. **Regar en agotamiento crítico:** permite que los momentos de riego sean cuando el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) se haya utilizado por completo. Esta opción representa la forma clásica de determinar la programación de riego, resultando en riegos reducidos, pero a irregulares intervalos de riego, lo cual requiere de un sistema de riego flexible.
3. **Regar por debajo o por encima del agotamiento crítico:** esta opción es parecida a la anterior pero da la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Valores por debajo del 100% significan que el riego se llevará a cabo antes de que el AFA ha sido completamente agotada. Valores por encima del 100% van a permitir un cierto nivel de estrés hídrico del cultivo antes de la aplicación de riego.
4. **Regar en intervalos fijos por etapa:** permite definir un intervalo de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final). Esta opción es adecuada en caso de un sistema rotacional de distribución de agua, tal como ocurre en la mayoría de los sistemas de riego.
5. **Regar en agotamiento fijo:** el momento del riego se define en base a un valor fijo de agotamiento de la humedad del suelo en mm.
6. **Regar a determinada reducción de ETC por etapa:** se define el momento de riego en función a una determinada reducción de la ETC. Esta opción es útil en caso de que se prevea programación de riego bajo déficit, en vista de escasez prevista de suministro de agua.
7. **Regar a una reducción del rendimiento determinada:** esta opción se utiliza para definir la Programación en base a una Reducción de rendimiento aceptable. Como en el caso de la opción anterior, esto es útil en caso de incorporar riego deficitario.

Paralelamente, las opciones para la aplicación de riego son:

1. **Lámina de aplicación definida por el usuario:** permite definir las láminas de aplicación de cada riego. Se complementa con la opción de momento de riego "Intervalo de riego definido por el usuario".
2. **Reponer a capacidad de campo:** determina que el riego se hace hasta llevar el suelo a Capacidad de Campo (CC). Como el agotamiento en la zona radicular varía con el cambio de la profundidad radicular y de los niveles permitidos de agotamiento, las aplicaciones de riego pueden variar considerablemente a lo largo de la temporada.
3. **Reponer por debajo o por encima de capacidad de campo:** Como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Cualquier valor por debajo del 100% significa que la humedad del suelo no llegará a CC, lo cual es útil para considerar posibles lluvias. Cualquier valor por encima de 100% va a permitir un cierto nivel de percolación profunda (PP), útil para lixiviación para control de la salinidad.
4. **Lámina de riego fija:** Seleccione esta opción para definir una lámina de riego fija en mm. Las láminas de riego normalmente se adaptan al método de riego; esta es una condición predominante en la mayoría de los sistemas de riego superficial, en los que las láminas de riego permiten poca variación.

Patrón de cultivos

Este módulo de entrada permite vincular los archivos de hasta veinte cultivos diferentes con sus determinadas fechas de siembra y las áreas que ocupan. El objetivo de esto es diseñar posteriormente un sistema de riego, lo cual implica hacer una programación de riego pero para una tierra en la cual existan diferentes cultivos.

Sistema

El módulo de abastecimiento del sistema permite calcular los requerimientos de riego para cada cultivo del sistema, los requerimientos netos de riego del esquema, la superficie irrigada como porcentaje de la superficie total y el requerimiento de riego para el área real.

5.2. Experimentación

A continuación se detalla el proceso de experimentación. Se hicieron varias corridas del programa cambiando las variables de los módulos de entrada según fue descrito anteriormente. Se ingresaron los parámetros requeridos solamente en los módulos de *Clima/ETo*, *Precipitaciones*, *Cultivos* y *Suelo*, ya que los resultados buscados eran aquellos devueltos por el módulo *Programación*. Los resultados obtenidos del módulo *Requerimiento de Agua* no se consideraron relevantes ya que no contemplan las condiciones operativas. Tampoco se trabajó con los módulos de *Patrón de Cultivo* ni *Sistema*.

Los valores del ingresados en el módulo *Clima/ETo* son los promedios mensuales para cada parámetro obtenidos de la estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) San Martín –

Mendoza. La ciudad de San Martín se encuentra a 13 km de Rivadavia. Como se especificó anteriormente, es necesario tener en cuenta para el diseño las precipitaciones correspondientes a un año seco (P_{80}), por lo cual se crearon dos tipos de módulos de precipitaciones. Las combinaciones de los diferentes datos ingresados dan un total de 6 escenarios de simulación, los cuales se describen en la Tabla 11.

Escenario	Módulo de entrada	
	Precipitaciones	Cultivo
1	P_{media}	Vid
2	P_{media}	Álamo
3	P_{media}	Olivo
4	P_{80}	Vid
5	P_{80}	Álamo
6	P_{80}	Olivo

Tabla 11. Escenarios de simulación

A modo de ejemplificación, se representa como fue el proceso de simulación con el escenario 1. Los módulos de entrada con los valores para el resto de los diferentes escenarios se muestran en el Anexo 3.

Entrada de datos

En primer lugar se ingresaron los datos del módulo Clima/ETo, como se observa en la Imagen 5.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	17.8	32.4	56	170	8.3	23.6	5.95
Febrero	16.5	31.1	59	149	8.1	21.9	5.21
Marzo	14.8	28.1	66	144	8.0	19.1	4.14
Abril	10.1	23.5	70	125	8.1	15.7	2.85
Mayo	6.1	19.1	71	113	7.5	12.1	1.82
Junio	2.7	15.7	70	108	7.6	10.7	1.31
Julio	1.9	15.4	65	122	8.1	11.8	1.46
Agosto	4.0	18.6	57	142	8.5	14.8	2.32
Septiembre	6.8	21.5	55	166	8.3	18.1	3.35
Octubre	11.0	26.0	51	185	8.3	21.2	4.66
Noviembre	14.0	29.2	51	202	8.8	23.9	5.74
Diciembre	16.8	31.7	52	180	8.5	24.3	6.08
Promedio	10.2	24.4	60	150	8.2	18.1	3.74

Imagen 5. Módulo Clima/ETo.

Como se señaló anteriormente, el software devuelve los valores de radiación y finalmente de ETo calculada con el método Penman-Monteith modificado por la FAO.

Seguido, se cargaron los valores en módulo de *Precipitaciones*. En la Imagen 6 se observan los valores para P_{media} . El valor de precipitación efectiva es irrelevante ya que sirve para generar resultados en el módulo *Requerimiento de Agua*, el cual no fue utilizado. En el Anexo 3 se encuentra la pantalla con los valores de la pantalla para P_{80} .

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	43.5	40.5
Febrero	35.1	33.1
Marzo	41.6	38.8
Abril	13.7	13.4
Mayo	9.2	9.1
Junio	3.7	3.7
Julio	6.8	6.7
Agosto	6.4	6.3
Septiembre	12.4	12.2
Octubre	12.7	12.4
Noviembre	20.1	19.5
Diciembre	27.5	26.3
Total	232.7	222.0

Imagen 6. Módulo de Precipitaciones para P_{media} .

El siguiente módulo de entrada es el de *Cultivo*. Para obtener los valores de los parámetros requeridos y las fechas de siembra junto con la duración de las etapas del cultivo se hizo una exhaustiva búsqueda de valores que sean representativos del caso estudiado.

Como se mencionó anteriormente, los valores de K_c no solo dependen del cultivo y de la etapa de crecimiento en la que se encuentre, sino que también están relacionados con el suelo en el cual se llevaron a cabo las mediciones para su estimación. Es por esto que se buscó valores de K_c que hayan sido obtenidos en suelos cercanos al área de estudio. Sin embargo, dichos valores solo fueron obtenidos para el caso de la vid. Para el caso del olivo, se utilizaron valores obtenidos en la Provincia de La Rioja ($K_c = 0,4$) para los meses invernales (Rousseaux, Searles, & Benedetti, 2008). Para el resto de los meses se tomaron los valores recomendados por la FAO. En el caso del álamo, los valores de K_c fueron obtenidos de bibliografía referente a la Provincia de Chubut.

La pantalla del módulo *Cultivo* para el caso de la vid se observa en la Imagen 7. En el Anexo 3 se muestran las pantallas para el caso del álamo y el olivo con los valores de los parámetros utilizados.

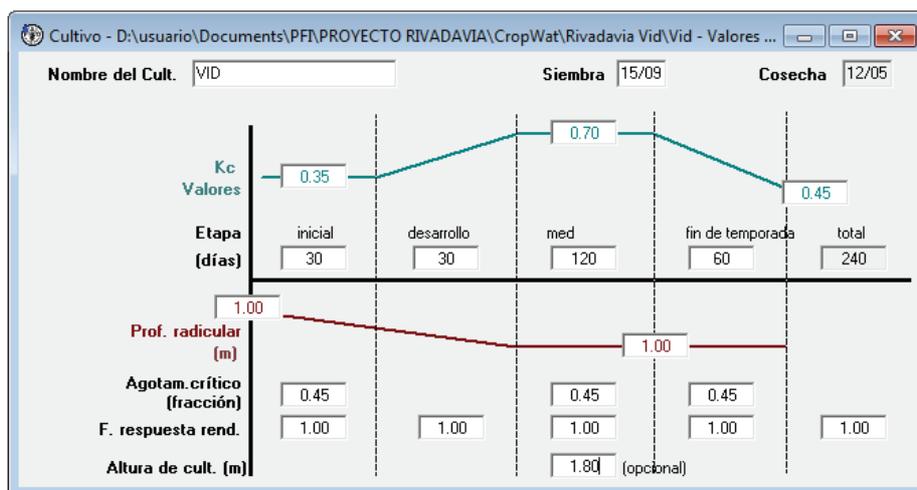


Imagen 7: Módulo Cultivo para vid. Fuente: (INTA EEA Mendoza, 2017)

El último módulo de entrada completado fue el de *Suelos*. La textura del suelo en el área de estudio es franco-arenosa (Riu & Settepani, 2004), de manera que se utilizaron los datos de la base de datos del software correspondientes a este tipo de suelo. Debido a que el cultivo de vid no es regado a lo largo de todo el año, cuando se corre el programa para este este cultivo se toma un valor de agotamiento inicial de humedad del suelo igual al 50%¹⁵. La pantalla de este módulo se observa en la Imagen 8.

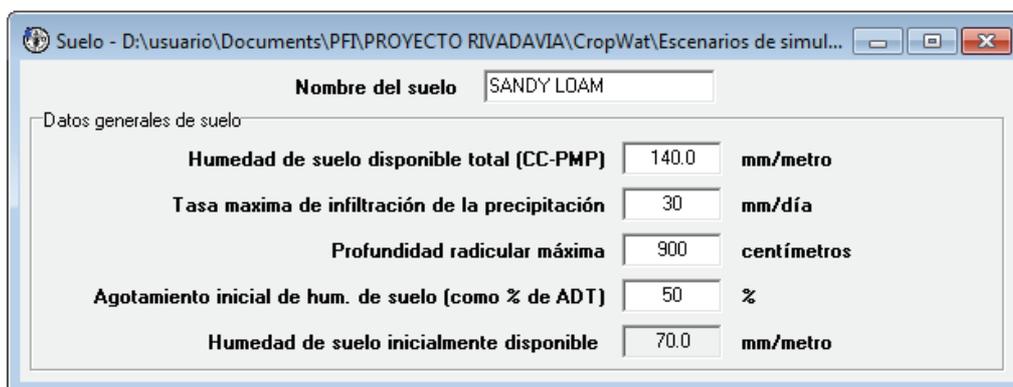


Imagen 8. Módulo de Suelo.

Salida de datos

Los datos que se tomaron como resultados de las simulaciones son aquellos que devuelve el módulo *Programación*. Como se describió anteriormente, este módulo tiene varias opciones de configuración. Fue necesario precisar entonces el momento de riego, la aplicación del riego y la eficiencia del mismo. El desafío en esta etapa fue poder plasmar la situación del entorno real para

¹⁵ Según (INTA EEA Mendoza, 2017)

que el programa devuelva valores aplicables. Uno de los principales aspectos considerados es que el efluente de salida del ED tiene un caudal constante y, debido a la falta de espacio, se debe minimizar las necesidades de almacenamiento. Es por esto que generó un sistema de turnos para administrar la utilización de esta agua entre los regantes de ACRE.

De los tipos de métodos de riego permitidos en ACRE se eligió el riego por surcos. Esta elección se hizo en base a la visita que se hizo al área de estudio, en la cual se observaron los diferentes cultivos y se vio que esta práctica es común en la zona. Además este es uno de los métodos de riego recomendados para los sistemas de baja carga y es aplicable para cultivos de vid, álamo y olivo. El tipo de riego determina la eficiencia del mismo, de manera que se obtuvo de bibliografía que para riego por surco sin nivelado del terreno la eficiencia es de entre 40 y 70% (Pereira, De Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo, 2010). Se decidió tomar un valor de 55%.

El momento de riego elegido fue *Regar a intervalo fijo por etapa* ya que es necesario elaborar un ciclo de riego para establecer los turnos. Con respecto a la aplicación de riego, también se eligió un valor de aplicación determinado, *Lamina de aplicación fija*, ya que al ser el caudal de salida del ED constante debemos tratar de asegurar un caudal de riego constante. Para definir estos valores, en cada escenario primero se simuló seleccionando las opciones de *Regar a agotamiento crítico* y *Reponer a capacidad de campo* con el fin de tener una idea de entre que valores se encuentran las láminas netas y los intervalos de riego ideales. Además, se tuvieron en cuenta los resultados reflejados en la parte gráfica del módulo *Programa*, ya que en este se muestra el agotamiento de humedad en la zona radicular (D_r , mm) con respecto a la capacidad de campo, el ADT y el AFA. Se buscó que el agotamiento de humedad en la zona radicular, D_r , no superara de repetidamente la línea del AFA¹⁶ y que sea negativo al principio de cada aplicación¹⁷, pero sin que se presenten excesivos eventos en los que superase de la capacidad de campo. También se observó el valor de reducción de rendimiento devuelto por el software, tratando de que este sea el menor posible. Teniendo en cuenta todo esto y que los sistemas de baja carga necesitan ciclos de aplicación de entre 4 y 10 días¹⁸, se fueron modificando los valores de intervalo de riego y de lámina neta hasta obtener valores aceptables. Para el escenario 1 se tomó un intervalo de 8 días y una lámina fija de 25 mm.

Los resultados que arroja el software en el módulo *Programación* se visualizan en la Imagen 9. Como se observa en la parte superior de la imagen, la reducción de rendimiento es de solamente 0,2%. En la parte inferior de pantalla se muestran los valores totales, sin embargo el resultado más

¹⁶ Para el caso del cultivo de vid al comienzo del ciclo es inevitable tener valores de D_r mayores al AFA ya que durante el periodo anterior la tierra no fue irrigada.

¹⁷ La cantidad de agua que excede la capacidad de campo (valores negativos de D_r) se pierde por infiltración. Es necesario que esto suceda para asegurar el lavado de los suelos y evitar que estos se salinicen. Se tomó que la demanda de lavado (mm) debe ser aproximadamente un 10% del total del agua de riego (Metcalf & Eddy, 1995)

¹⁸ Los sistemas de baja carga se caracterizan además por la degradación aerobia que se da en el sistema agua-planta-suelo. Es por esto que es importante desarrollar ciclos de aplicación intermitentes, generalmente de entre 4 y 10 días (Metcalf & Eddy, 1995)

relevante para el análisis posterior es la lámina bruta (mm). Para el caso del escenario 1 este valor es de 45.5 mm.

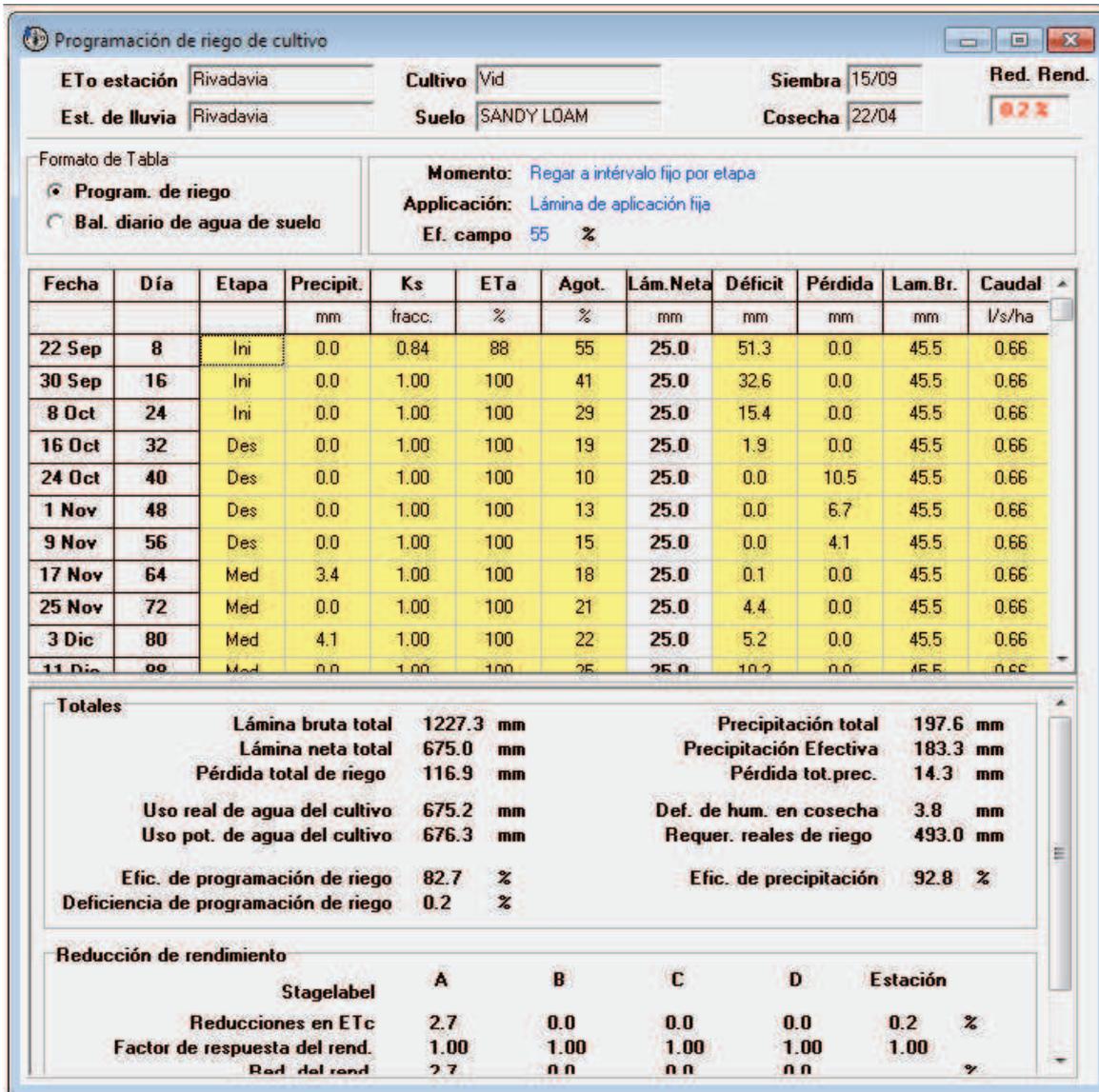


Imagen 9. Resultados arrojados por el módulo Programación para el escenario 1.

En la Imagen 10 se observa el gráfico devuelto por este mismo módulo. Las barras rojas representan el D_r . Como se observa, para este caso el D_r este solo supera la línea del AFA en los primeros días. Luego esta situación cambia, de manera que durante el resto del ciclo el cultivo no sufriría estrés hídrico. Es importante destacar que en ningún momento se alcanza el límite marcado por la línea de ADT a partir del cual el cultivo entra en estado de marchitez permanente. También se minimizaron los eventos en los que se supera la capacidad de campo del suelo, evitando así una excesiva infiltración a la napa.

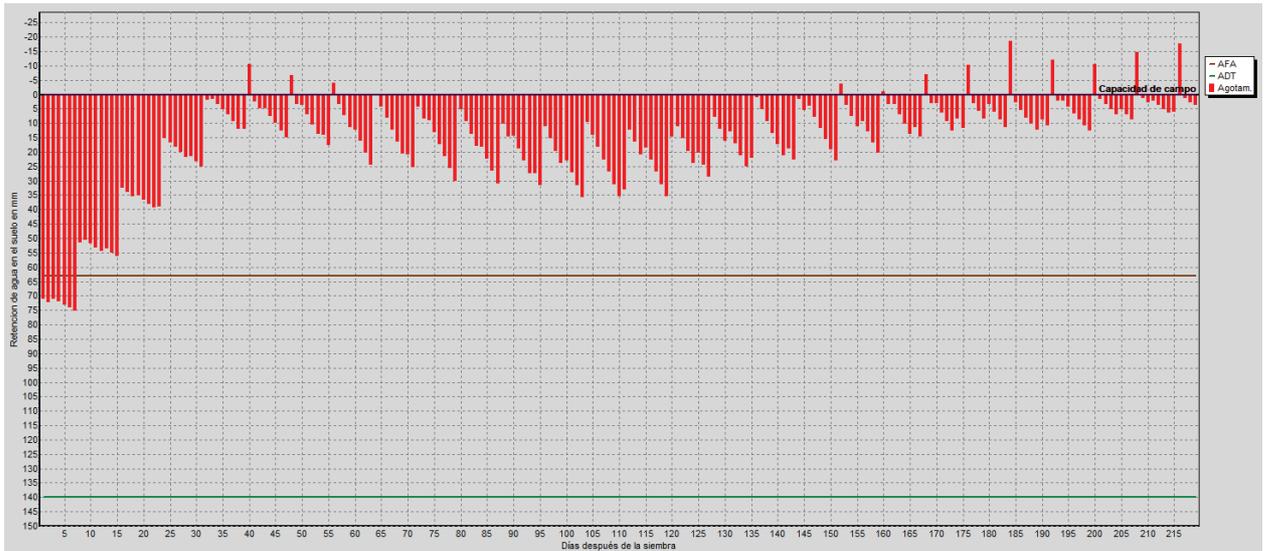


Imagen 10. Resultados gráficos arrojados por el módulo Programación para el escenario 1.

5.3. Resultados de simulación y análisis

Se corrió el software para los diferentes escenarios varias veces, cambiando las variables del módulo programación hasta obtener resultados que se condijeran con los objetivos de la simulación. Estos se observan en la Tabla 12.

Escenario	Lamina neta (mm - L/m ²)	Lamina bruta (mm - L/m ²)	Intervalo de riego (d)
1	25	45,5	8
2	8	14,5	14
3	10	18,2	14
4	22	40	6
5	10	18,2	15
6	12	21,8	15

Tabla 12. Resultados de simulación con CROPWAT.

Con los valores de intervalo de riego (d), lamina bruta (m³/ha) y caudal de efluente de llegada a los ACRES (m³/d) se calculó la superficie de riego para cada cultivo. Los caudales que utilizados para este cálculo son:

- el caudal esperado a la finalización de la refuncionalización del ED, Q2019;
- el caudal luego de la finalización de las obras de conexión de red ya planificadas, Q2021;
- el caudal al final del periodo de diseño, Q2039;

Todos estos caudales fueron estimados a partir de los valores de población servida especificados en el *CAPÍTULO 2: Diagnóstico*. Se tuvo en cuenta una pérdida del 10% en el ED¹⁹ y un 15% en el sistema de conducción hasta los ACREs. Los valores se presentan en la Tabla 13.

	Valor (m3/d)
Q2019	5463,95
Q2021	5789,44
Q2039	6609,60

Tabla 13. Caudales de efluente cloacal tratados a ser usados para riego en ACREs.

Los resultados finales de superficie de riego para cada cultivo son presentados como un intervalo. El límite inferior parte del resultado de la simulación con la P₈₀, referente a un año seco, y el superior del resultado de la simulación con la P_{media}. Los resultados se pueden ver en la Tabla 14.

Cultivo	Superficie de irrigación (ha)					
	Q2019		Q2021		Q2039	
Vid	82	96	87	102	99	116
Álamo	450	528	477	559	545	638
Olivo	376	420	398	445	455	508

Tabla 14. Resultados de simulación expresados en intervalo de superficie a regar de cada cultivo para los diferentes caudales esperados.

La primera conclusión que se puede obtener de los resultados es que la superficie de irrigación es mucho menor para el cultivo de vid que para los de álamo y olivo. Esto se debe principalmente a que el ciclo de cultivo de la vid abarca los meses de primavera y verano en los cuales las altas temperaturas se reflejan en un aumento importante de la evapotranspiración. En cambio, la simulación para las plantaciones de álamo y olivo se hizo teniendo en cuenta que estas serían irrigadas con el efluente solamente en los meses de otoño e invierno.

Con respecto al aumento progresivo de los caudales, es importante decir que este se refleja también en un incremento de las superficies de irrigación como era esperado. El aumento es más pronunciado para el álamo y el olivo debido a las menores necesidades de riego que presentan. La amplitud del intervalo también es mayor para el caso de estos cultivos, lo cual denota una mayor flexibilidad que deberá ser tenida en cuenta como un aspecto positivo de estos cultivos.

Por último es importante comparar los resultados con los valores de áreas que ocupan los ACREs actualmente. En la Imagen 4 se muestran los ACREs actuales, los cuales ocupan una superficie total de aproximadamente 98 ha. Si se tiene en cuenta la superficie de los ACREs a incorporar, esta da un total de 160 ha. En caso de que todos estos ACREs estén destinados al cultivo de vid, la necesidad de área para irrigación durante los meses de primavera y verano estaría cubierta. Sin embargo, como se desconoce el tipo de cultivo en cada ACRE es imposible dar una respuesta concreta. No obstante, se puede observar también en la Imagen 4 que el del canal que transporta

¹⁹ La principal pérdida de efluente se daría por evaporación en las lagunas de estabilización.

los efluentes del ED hace un recorrido a través de zonas cultivadas, de manera que existirían múltiples posibilidades de crear nuevos ACREs. Esta última conclusión se refuerza con información que se obtuvo durante la visita al ED, en la cual se me comentó que los dueños de las fincas se “pelean” por las aguas provenientes del ED debido a los rendimientos que obtienen.

6. Plan de reutilización de efluentes tratados

Los cultivos que serán irrigados con las aguas de salida del ED de Rivadavia son vid, olivo y álamo. Durante los meses de primavera y verano (de septiembre a abril) recibirán los efluentes tratados los regantes de ACREs que cultiven vid, mientras que durante los meses de otoño e invierno (de mayo a agosto) recibirán los efluentes los regantes que cultiven olivo y/o tengan plantaciones de álamos. Estos últimos deberán abastecerse con el agua de riego provista por el DGI durante los meses de verano.

El DGI deberá organizar sistemas de turnos entre los regantes de ACREs. La cantidad de turnos dependerá del área que se vaya a irrigar. Esta área debe ser elegida utilizando como guía los valores reflejados en la Tabla 14. Se debe tener en cuenta que los resultados de esta tabla están expresados como si todo el caudal fuera destinado a un solo cultivo, por lo cual para el riego en los meses de otoño e invierno se debe evaluar qué porcentaje de caudal será destinado al cultivo de álamo y que porcentaje al de olivo. Es importante destacar que, una vez elegida el área de cada cultivo a irrigar, se deberán recalcular los valores de intervalo de riego y lamina aplicada ya que estas son variables interrelacionadas, o utilizar los mismos intervalos que los empleados en el presente trabajo. El intervalo de riego (d) será entonces igual a la cantidad de turnos. Cada regante tendrá asignado en un calendario el día que recibirá el agua proveniente del ED y puede haber más de un regante por turno.

Con respecto a las necesidades de almacenamiento de efluente, es importante recordar que el área de irrigación fue calculada con el fin de que no existieran necesidades de almacenamiento en el predio del ED. Sin embargo, los regantes de ACREs pueden contar con tanques de almacenamiento en sus propias fincas para tener un mayor control del caudal aplicado directamente en las tierras cultivadas (l/s/ha).

El método de riego en los ACREs debe ser superficial, más específicamente riego por surcos sin desagües. En caso de que un regante implemente otro método, se deberán rehacer los cálculos para tener en cuenta el cambio de eficiencia. No se podrán implementar sistemas de riego por aspersión o pivote según lo establece la normativa.

Se deberán respetar las normas de seguridad e higiene, evitando en todo momento el contacto directo con el efluente. Debido al método de riego elegido, vale destacar que se debe evitar el anegamiento de sectores próximos a los surcos, permitiendo la circulación de personas y equipos sin que estos tengan contacto con el efluente. También se prohíbe el recoger frutas caídas del suelo y se deben eliminar las frutas dañadas. Medidas como la utilización barbijos, guantes y calzados no son obligatorios para este caso ya que los efluentes serán sometidos a un tratamiento secundario, pero pueden ser tenidas en cuenta.

Es necesario determinar un área cerca al ED en la cual se podrán descargar los efluentes en caso de que los regantes no puedan recibirlos en sus fincas. Estas áreas deberán tener obligatoriamente vegetación para garantizar el consumo del agua y evitar un lavado excesivo del suelo. A modo estimativo, una área cubierta por pasto en esta región podrá recibir 70 m³/ha diarios.

Por último, es importante destacar que serán elegibles las plantaciones de vid y de olivo cuyo producto sea destinado para la producción de vinos, aceite u otros y no para consumo directo.

7. Conclusiones y recomendaciones

Se logró obtener un plan de reutilización acorde al área de estudio, el cual garantiza no solo el desarrollo eficiente de los cultivos elegidos sino que también asegura el tratamiento final de los efluentes y la preservación del recurso hídrico. Este plan cumple con los requerimientos establecidos en el Reglamento General de ACRE (Resolución 400/03 del HTA) y permite al gestor del recurso, el DGI, organizar la distribución del efluente de salida del ED según la aptitud de los regantes existentes y los posibles nuevos regantes. Los agricultores de la zona ya están acostumbrados a operar bajo régimen de turnos de riego, de manera que la adaptación residiría solo en la implementación de medidas de seguridad e higiene para los nuevos regantes.

La alternancia entre cultivos de primavera/verano y otoño/invierno tiene como ventaja principal la preservación del suelo. Durante la visita al ED de Rivadavia se me fue informado que era muy recurrente escuchar de parte de los agricultores que se les “quemara el suelo” término que utilizan para referirse a una gran acidificación del mismo. Esto se debe en parte a las deficiencias de tratamiento en el ED pero también al uso excesivo de estos efluentes para irrigación. La alternancia junto con la refuncionalización del ED asegura entonces evitar esta situación y que las tierras continúen siendo productivas.

Con respecto a las consideraciones que deberán tenerse en el diseño del ED, en primer lugar hay que mencionar el control de la salinidad. Al tratarse de efluentes cloacales esto no debería representar un problema, pero debido a la sensibilidad de los cultivos y a la presencia de valores excesivos de salinidad en el acuífero esto deberá ser tenido en cuenta a la hora de monitorear el agua de salida del ED.

Por otra parte, en primera instancia no serían necesarias unidades específicas de remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. El nitrógeno amoniacal en el ED será eliminado en parte por asimilación de las bacterias mientras que otra parte quedará en el efluente en forma nitrato, producto del pasaje por las unidades de tratamiento aeróbicas. Se deberá prestar atención a la concentración de nitratos en el efluente de salida ya que estos no son retenidos por adsorción en el suelo sino que se mantiene en solución y es transportado como parte del agua percolada. La vegetación puede asimilar nitratos pero solo en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo, siendo la mayor fuente de eliminación de nitratos la desnitrificación biológica. Para garantizar esto último deberán controlarse las relaciones carbono/nitrógeno. Con respecto al fósforo, es importante mencionar que a pesar de que las plantas consumen cierta cantidad la mayor eliminación se da por adsorción seguida de

precipitación química. La adsorción de fósforo suele ser particularmente elevada en suelos arenosos, por lo cual para este caso es beneficioso ya que el fosforo adsorbido suele permanecer retenido en el suelo y es resistente al lixiviado.

CAPÍTULO 4: Ampliación y refuncionalización del Establecimiento Depurador Rivadavia

1. Introducción

En este capítulo se aborda el diseño que se hizo de las nuevas unidades operativas que conformarán el ED junto con la refuncionalización de las unidades existentes. Primeramente se exponen las dos alternativas de tratamiento planteadas y la evaluación que se efectuó para elegir entre una de ellas. Vale mencionar que un cambio en la ubicación del ED no fue tenido en cuenta ya que se desconoce si la empresa cuenta con otro predio disponible. Además el predio actual tiene mucha superficie libre disponible, siendo que solo un tercio está ocupado por las tres series de lagunas de estabilización existentes. Estas lagunas forman parte del tratamiento en ambas alternativas. Los criterios que se utilizaron al comparar las alternativas fueron la superficie ocupada, los requerimientos energéticos, la eficiencia de remoción de contaminantes y la generación de lodos.

Posteriormente se desarrolla la memoria de descriptiva y la de cálculo para la alternativa de tratamiento elegida. Siguiendo se describen brevemente las obras de refuncionalización necesarias. Por último se detalla el presupuesto del proyecto y los costos de operación del ED. En forma de apartado se presentan los planos de las instalaciones, incluyendo una vista superior de la totalidad del ED y diferentes vistas y cortes de cada una de las unidades de tratamiento.

1.1 Objetivos del tratamiento

Al comparar los de los parámetros medidos en el efluente con los límites de vuelco establecidos en la normativa (Resolución 400/03 del HTA) se determinan cuales propiedades del efluente deben ser modificadas en el tratamiento y cuáles deben ser solamente monitoreadas. En la Tabla 15 se presenta un resumen de las características del efluente, indicando cuales parámetros se modificarán en el proceso de tratamiento. Algunos de los valores de los parámetros de salida buscados son menores a lo establecido en la normativa ya que se establece un margen de seguridad en el tratamiento adoptado a criterio profesional.

Parámetro	Valor de entrada	Limite Resolución 400/03 del DGI	Valor de salida buscado	Porcentaje de reducción
pH	7,53	6,5-8	-	-
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	1935,20	2500	1500 ¹	22%
DBO 5 (mg/l) ²	187,72	30	20	90%
DQO (mg/l) ²	434,80	70	50	88%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	151,00	100	75	50%
Sólidos sedimentables en 10 min (mg/l)	1,73	0,5	0,1	94%
E. Coli (NMP/100 ml)	5,02E+07	3162	3000	99,99%
Huevos de Helmintos (huevos/1000 ml)	19,89	1	1	95%
Sulfatos (mg/l)	424,50	700	-	-
Cloruros (mg/l)	50 ³	600	600	-

Tabla 15. Objetivos del tratamiento.¹Conductividad recomendada en agua de riego de vid (FAO, 2002) ² Determinación con descuento de masa algal ³Valor tomado de bibliografía (Metcalf & Eddy, 1995)

Con respecto a los nutrientes, fósforo, nitrógeno y potasio, la normativa no especifica los valores de salida, estableciendo que los límites se deben seleccionar en relación a las características del acuífero receptor. Tomando la información plasmada en la sección 1.6.2 *Contaminación de aguas subterráneas* del CAPITULO 2 y los resultados obtenidos del CAPÍTULO 3: *Reuso de efluentes cloacales* se decidió que no sería necesario establecer porcentajes de reducción de la concentración de nutrientes. Sin embargo, se consideró necesario estimar la concentración de los mismos a la salida, poniendo especial atención en la concentración de nitratos, la cual no debería superar los 30 mg/l (EPA, 2012).

Vale mencionar también que dentro de la normativa se establece un valor máximo para la Relación de Absorción de Sodio (RAS) de 6. Este valor que expresa la relación entre los iones de sodio y con el calcio y el magnesio existente en el suelo. Debido a que no se obtuvieron los valores de las concentraciones de estos iones en el efluente, no se hará una evaluación con respecto a la variación del mismo a lo largo del tratamiento. Sin embargo se tendrá en cuenta los efectos del tratamiento elegido sobre estos parámetros.

Para el diseño de las instalaciones se utilizaron dos valores de caudales, el caudal medio (Q_m) y el caudal punta horario (Q_p). Como ya se especificó en el CAPÍTULO 2. *Diagnóstico*, el caudal medio adoptado es de 8640 m³/d o 0,10 m³/s. Debido a que no se cuenta con series históricas de los valores de caudales que llegan al ED, se calculó el factor punta tomando dos ecuaciones empíricas, una propuesta por Los Angeles (Ec. 6) y la otra por Tchobanoglous (Ec. 7):

$$f = \frac{3,53}{Q_m^{0,0914}} = 2,42 \text{ Ec.(6)}$$

$$f = \frac{3,70}{Q_m^{0,0733}} = 1,9 \text{ Ec.(7)}$$

Se decidió tomar el mayor valor de f para evitar subestimaciones. El valor de Q_p es entonces de $20866,11 \text{ m}^3/\text{d}$ ó $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Análisis de alternativas

Como se mencionó anteriormente, las tres series de lagunas de estabilización facultativas existentes deberán ser parte del nuevo proceso de tratamiento. Estas serán refuncionalizadas mediante obras de limpieza (remoción de barros acumulados) y mantenimiento, de manera que volverían a operar con su máxima capacidad hidráulica.

En este punto es importante destacar la necesidad de llevar a cabo las obras con el ED en funcionamiento. Es por esto que se decide construir otra serie de lagunas de estabilización en paralelo, de manera que se puedan efectuar las obras dejando de a una serie fuera del proceso por vez. La nueva serie tiene las mismas dimensiones que las otras tres para mantener la consistencia del tratamiento. Considerando el caudal de diseño y las dimensiones de las unidades, las lagunas primarias de cada serie (L1) operarán con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 18 días y las lagunas secundarias (L2) con un TRH de 5 días.

La alternativa A, basada en lo propuesto por AySAM, cuenta con los siguientes procesos:

- Pre-tratamiento: desbaste con rejas automáticas
- Bombeo: estación de bombeo en seco desde cámara húmeda receptora de efluentes
- Primer tratamiento biológico: dos lagunas aireadas mecánicamente en paralelo
- Segundo tratamiento biológico: cuatro series de lagunas de estabilización facultativas en paralelo
- Desinfección: cámara de cloración
- Disposición/tratamiento final: riego en ACREs

El diagrama de las unidades que conforman la alternativa A se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Diagrama de proceso, Alternativa A.

Antes de proponer una nueva alternativa (alternativa B), se calculó la eficiencia de remoción de materia orgánica disuelta de las lagunas L1 y L2. Las lagunas de estabilización se diseñan generalmente utilizando modelos empíricos, los cuales se basan en el concepto de carga orgánica suspendida aplicable (CSA, $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{d}$) y carga orgánica superficial removida (CSR, $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{d}$). La relación entre la CSA y la CSR indica la eficiencia de remoción, la cual se utiliza para calcular la

concentración de materia orgánica disuelta a la salida. Se utilizaron tres modelos diferentes para poder hacer una comparación de los resultados²⁰: Yañez, Cubillos y McGarry y Pescod.

Los resultados de CSA, CSR y eficiencia obtenidos para cada modelo se encuentran plasmados en la Tabla 16. Vale destacar que estos valores son independientes de la concentración de DBO de entrada.

Método	Laguna de estabilización	CSA (kg/ha.d)	CRS (kg/ha.d)	Eficiencia remoción DBO (%)
Yañez	L1	274,75	229,20	83
	L2		209,38	76
Cubillos	L1	205,11	163,58	80
	L2	170,92	134,90	73
McGarry y Pescod	L1	155,41	123,02	79
	L2			

Tabla 16. Eficiencia de remoción de materia orgánica en lagunas de estabilización calculada con diferentes métodos empíricos.

De la Tabla 16 se puede concluir que los resultados de eficiencia son confiables ya que todos dan dentro de un rango de $\pm 6\%$. Se decidió continuar entonces con los resultados del método Cubillos ya que es el que menores valores de eficiencia da. Según los resultados de este método, en conjunto las lagunas L1 y L2 tendrían una eficiencia de remoción de DBO de un 95%, un 5% más del objetivo del tratamiento.

Debido a los altos porcentajes de remoción de materia orgánica esperados en las lagunas, para la alternativa B no se consideró otra unidad de tratamiento biológico. Durante la visita al ED de Rivadavia se observó a simple vista que el afluente tenía presencia de sólidos suspendidos y de espumas (ver Imagen 11), por lo cual para la alternativa B se propuso la incorporación de un tratamiento primario completo, enfocándose en la remoción de sólidos suspendidos, arenas y grasas.

²⁰ Las ecuaciones correspondientes a estos modelos se exponen en el Anexo 4



Imagen 11. Afluente del ED de Rivadavia al 7 de septiembre de 2018.

La alternativa B cuenta entonces con los siguientes procesos:

- Pre-tratamiento: desbaste con rejas automáticas
- Bombeo: estación de bombeo en seco desde cámara húmeda receptora de efluentes
- Tratamiento primario:
 - Remoción de arenas , grasas y aceites: desarenador-desengrasador
 - Remoción de solidos suspendidos: tanques de sedimentación primarios
- Tratamiento biológico: cuatro series de lagunas de estabilización facultativa en paralelo
- Desinfección: cámara de cloración
- Disposición/tratamiento final: riego en ACRES

El diagrama de las unidades que conforman la alternativa B se puede observar en la Figura 11.

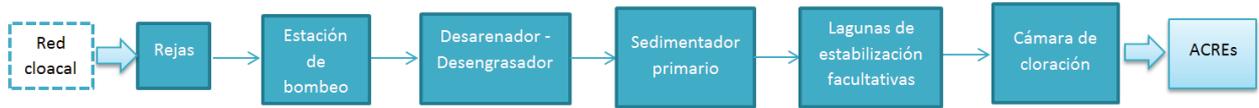


Figura 11. Diagrama de proceso, Alternativa B.

Las unidades que son comunes a ambas alternativas (sistema de rejas, cámaras de bombeo y de cloración) no fueron tenidas en cuenta en el análisis expuesto a continuación.

2.1. Alternativa A

Lagunas aireadas mecánicamente

Una laguna aireada es un depósito de agua excavado en el terreno, el cual funciona como un reactor de mezcla completa que opera con flujo continuo, con o sin recirculación de lodos. Su función principal es la eliminación de la materia orgánica carbonosa disuelta mediante microorganismos aerobios. Para asegurar las condiciones de aerobiosis, es necesario suministrar oxígeno mediante aireadores superficiales o sistemas de difusión. La turbulencia creada por los sistemas de aireación permite a su vez mantener en suspensión el contenido del depósito.

El valor de TRH para este tipo de lagunas se debe encontrar entre los 3 y 6 días. Debido a que las series de lagunas de estabilización posteriores tienen una de remoción muy alta, se decide tomar el mínimo TRH posible. Se considera que operaran dos lagunas aireadas en paralelo cuyas características se observan en la Tabla 17.

Parámetro	Valor
Unidades operativas	2
TRH (d)	3
Altura (m)	3
Volumen unitario (m ³)	12721
Superficie total del líquido (m ²)	12308

Tabla 17. Parámetros de lagunas aireadas mecánicamente.

La eficiencia de remoción de materia orgánica, el sustrato, dado un TRH, se estima mediante un balance de masa en el reactor para el sustrato y para los microorganismos. Vale destacar que el rendimiento de estas unidades está supeditado a la temperatura ambiente y del efluente, de manera que se calcularon las eficiencias tanto para invierno como para verano. Los resultados se observan en la Tabla 18.

Estación	DBO salida (mg/l)	Eficiencia de remoción (%)
Verano	37,66	80
Invierno	74,79	60

Tabla 18. Remoción de materia orgánica disuelta en lagunas aireadas para invierno y verano

Por otro lado, se calculó la concentración de lodos producidos (X) la cual tiene un valor de 80,61 mg/l. Tomando el Q_m y un valor de peso específico de lodos de bibliografía se calculó la producción de lodos (P_x) la cual tiene un valor de 682,84 m³/d.

El valor de P_x permite calcular a su vez requerimientos de oxígeno (RO) para las lagunas, el cual ronda los 512 kg O₂/d. Debido a que el RO refleja las necesidades reales de oxígeno, es necesario calcular el SOR, valor que refleja los requerimientos estándar de oxígeno y que permite hacer la elección de los equipos. El valor de SOR obtenido es de 1051 kg O₂/d.

Como dispositivo de aireación y mezcla se eligen aireadores mecánicos superficiales de eje horizontal. Se toma un valor de capacidad de transferencia de oxígeno aproximado de la bibliografía²¹ de 2 kg O₂/kW.h. Con este valor y con el SOR, se obtiene que la potencia necesaria para cubrir los requerimientos de oxígeno deberá ser de 23,90 kW.

Con respecto a la mezcla, se estima que la potencia necesaria para asegurar un régimen de flujo de mezcla completa debe ser de 15,6 kW/10³m³²². Tomando el volumen de cada laguna expuesto en la Tabla 17, la potencia necesaria para asegurar la mezcla será de 198 kW. Siendo que la potencia de los aireadores elegidos²³ es de alrededor de 20 kW, la cantidad de aireadores necesaria por laguna es de 10 aireadores.

2.2 Alternativa B

Desarenador- desengrasador

La función de esta unidad es remover en simultáneo las arenas y grasas, aceites, espumas y otros materiales flotantes que pudiesen encontrarse en el efluente luego del desbaste. La presencia de arenas²⁴ produce abrasión y el desgaste, así como también para la formación excesiva de depósitos en las tuberías, canales y conducciones. A su vez, las grasas y aceites pueden causar interferencia en los tratamientos posteriores, en especial en los procesos biológicos.

En los tanques desarenadores-desengrasadores se sumista aire por medio de difusores con el fin de favorecer el ascenso de las partículas. Un puente barreador remueve las espumas y aceites acumulados en la superficie.

²¹ (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 650)

²² (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 694)

²³ Aire-O₂®Aspirador Aireador (Aeration), potencia 7.5-22 kW.

²⁴ Término que engloba a los sólidos de elevado peso específico, encontrándose bajo esta denominación también a las gravas, cenizas y restos de comida como cascaras de huevo, huesos, etc.

Se diseñó un tanque desarenador-desengrasador con un TRH de 14 minutos y una superficie ocupada de 25 m². Cabe mencionar que se construirían dos unidades en paralelo con el fin de rotar la operación de las mismas en caso de mantenimiento, de manera que la superficie total ocupada es de 50 m².

La generación de lodos se calculó adoptando un valor de m³ de arena por cada 1000 m³ de agua residual de bibliografía (valor referido al Q_m). Se obtuvo un valor de 1,04 m³/d.

Se consideró una necesidad de suministro de aire de 5 m³/m²h, de manera que para un volumen de 84 m³ el requerimiento de aire es de 504 kg/h, el cual será suplido mediante la instalación de difusores de burbuja gruesa. Serán necesarios 42 difusores en total, junto con la instalación de equipos sopladores.

El consumo de energía en esta unidad está dado por el movimiento del puente barredor, la bomba extractora de lodos y el suministro del aire, los cuales suman en total una potencia instalada de 11,03 kW.

Sedimentador primario

La principal función de estos equipos es la eliminación de los sólidos fácilmente sedimentables, a fin de disminuir la concentración de sólidos suspendidos en el efluente entre un 50 y un 70%. A su vez, debido a los contenidos de materia orgánica en estos sólidos, se reducen los valores de DBO en un 25 a 40% (Metcalf & Eddy, 1995).

Existen varias configuraciones en cuanto a la geometría de estos tanques y su alimentación, siendo la elegida en este caso una geometría cilíndrica con alimentación central. Se diseñaron dos tanques de sedimentación en paralelo con un TRH de 2 h. Vale mencionar que se considera que se construirán en total tres unidades, siendo la tercera utilizada durante operaciones de mantenimiento. La superficie total ocupada por estas unidades es de 370,29 m². La generación de lodos en estas unidades se calcula a partir del valor de SST de entrada y un valor de eficiencia de remoción adoptado en 50%, lo cual da un volumen de lodos removidos por día de 10,56 m³/d. Los lodos son retirados con una bomba extractora cuya potencia instalada es de 2,2 kW.

El tanque cuenta con un brazo barredor de lodos el cual tiene un motor que lo hace girar a una velocidad de 1,5 m/min. La potencia instalada total de estas unidades es de 5,20 kW.

2.3. Comparación y conclusiones

Los criterios que se utilizaron para la comparación entre las alternativas son:

- Superficie ocupada
- Requerimientos energéticos
- Eficiencia de remoción de contaminantes.
- Generación de lodos

En la Tabla 19 se presenta un resumen de estos parámetros comparados.

		Superficie ocupada (m ²)	Potencia instalada (kW)	Eficiencia de remoción (%)			Generación de lodos (m ³ /d)
				DBO ₅	SST	Arenas y flotantes	
Alternativa A	Lagunas aireadas	12307,65	412,41	60¹	-	-	682,84
Alternativa B	Desarenador-desengrasador	49,68	11,03	-	-	90	1,04
	Sedimentadores primarios	370,29	5,20	25	50	10	10,56
	Total Alternativa B	419,97	16,23	25	50	100	11,60

Tabla 19. Parámetros de comparación entre alternativas A y B.¹ Eficiencia de remoción en invierno.

Con respecto a la superficie, se puede observar que las lagunas aireadas ocuparían casi treinta veces más espacio que el conjunto de las unidades de la alternativa B, incluso teniendo en cuenta que en esta última se consideró la construcción de un tanque de desarenador-desengrasador y un sedimentador primario extra. Esto implica una clara desventaja para la alternativa A, ya que de ser elegida esta se vería limitada la expansión del ED a futuro.

Otro aspecto negativo de la alternativa A es el elevado requerimiento energético para el funcionamiento de las lagunas aireadas. Comparándolo con la alternativa B, la diferencia entre los costos de operación de una y otra son muy significativos, lo cual implicaría grandes diferencias en los costos de operación.

Por otra parte, con respecto a la remoción de materia orgánica, la alternativa A presenta mayores eficiencias, lo cual era de esperar ya que se trata de un tratamiento biológico. Sin embargo, teniendo en cuenta que las series lagunas de estabilización del proceso de tratamiento tienen una eficiencia de remoción de la materia orgánica disuelta del 95%, no sería necesaria una elevada eficiencia de remoción en esta etapa. Por otra parte, de ser elegida la alternativa B no solo se disminuiría concentración de materia orgánica, sino que también se llevaría a cabo una disminución de los sólidos suspendidos, las arenas y la materia flotante, procesos que no tendrían lugar en la alternativa A.

Por último, se consideró la generación de lodos ya que el manejo de los mismos representa un costo adicional de tratamiento y una ocupación del espacio disponible en caso que se decidan tratar en el predio del ED. La generación de lodos en las lagunas aireadas es treinta veces mayor que la de la alternativa B y, aunque estos no sean removidos puntualmente luego de del pasaje por estas unidades, la acumulación de lodos en las lagunas de estabilización sería mucho mayor en la alternativa A.

En conclusión, se pudo ver claramente que la elección de la alternativa B representa mayores ventajas en cuanto a superficie requerida, consumo energético, remoción de contaminantes y generación de lodos, por lo cual decidió seguir adelante con el diseño del ED basándose esta alternativa.

3. Memoria descriptiva

A continuación se presenta la memoria descriptiva del tren de tratamiento que se eligió. En la Figura 12 se presenta un diagrama del proceso en el cual están indicadas las etapas del tratamiento y las unidades comprometidas en cada una de ellas.

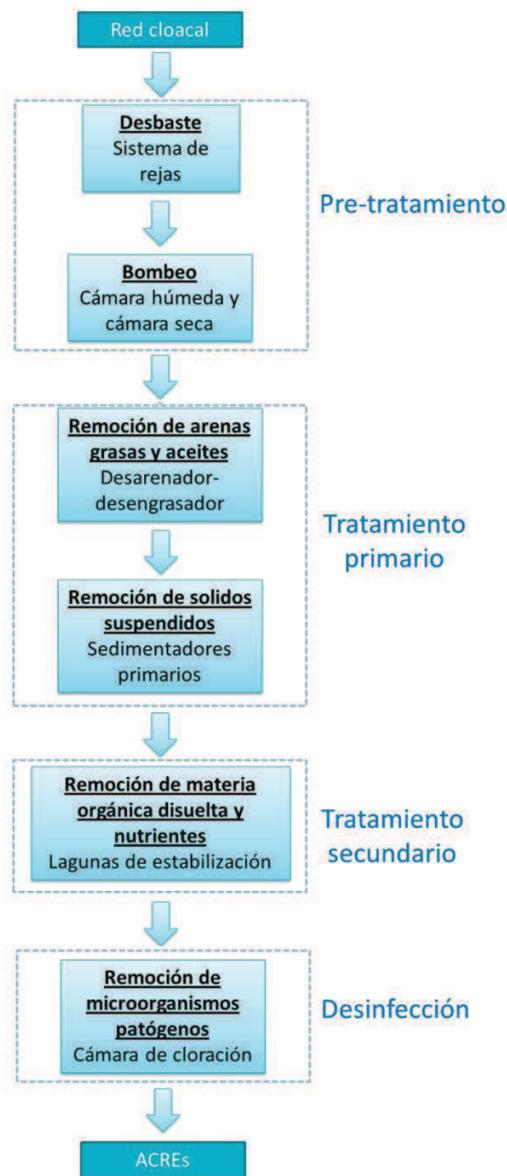


Figura 12. Diagrama de proceso de tiramiento de efluentes líquidos domiciliarios.

3.1. Pretratamiento

Sistema de rejas

El efluente llega al ED a través de la colectora máxima pasa por la calle Isaac Estrella. La primera operación que se lleva a cabo es el desbaste, el cual se realiza mediante un sistema de rejas de limpieza automática a cadena.

Las rejas están instaladas en dos canales de hormigón armado. Estos fueron específicamente diseñados para esta operación, cada uno tiene un ancho de 0,77 m y un largo de 5 m. Se operará un canal a la vez, siendo el segundo utilizado en caso de mantenimiento o reparaciones.

Los residuos acumulados son retirados de las rejas por rastrillos hacia un canasto de retención que se encuentra en la parte posterior. Los residuos son recolectados y enviados a disposición final.

Estación de bombeo

El canal de desbaste se conecta con la cámara húmeda construida en hormigón armado a través de una cañería de PVC cloacal de 630 mm. En esta cámara se atenúan los picos de caudal y de carga. De aquí el efluente es bombeado a través de tuberías de acero de 300 mm que se conectan con las electrobombas instaladas en la cámara seca. Se eligió el modelo S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513 GPA (96810375) de la marca Grundfos. A Q_m operará una bomba y a Q_p operarán dos bombas en paralelo. Se instalarán un total de tres bombas, cada una con una potencia de 21 kW. El efluente se eleva 7 m y es dirigido a presión hacia el desarenador-desengrasador.

3.2. Tratamiento primario

Desarenador-desengrasador

El efluente proveniente de la cámara seca de la estación de bombeo entra en el desarenador-desengrasador. Al igual que con el canal de rejas, se construirán dos canales en paralelo, a pesar de que se operarán un canal a la vez. Cada canal tiene un ancho efectivo de 2,38 m y un largo de 10,43 m y cuenta con un puente barredor que se desplaza longitudinalmente. Los puentes barredores están equipados con una rasqueta superficial para la remoción de grasas y aceites y una rasqueta barredora de fondo. Las arenas se acumulan en la zona de la tolva y son removidas mediante una bomba de desplazamiento positivo una vez por semana. Esta bomba también succiona las grasas y aceites. Cada unidad cuenta con 42 difusores de membrana de burbuja gruesa, para los cuales se instalarán sus respectivos sopladores. La potencia instalada total es de 11,03 kW.

El efluente pasa por gravedad hacia otra cámara equipartidora que distribuye el caudal en partes iguales para dirigirlo hacia los sedimentadores primarios.

Sedimentador primario

Se operaran dos sedimentadores primarios en paralelo. Cada unidad está conformada por un tanque circular, con alimentación central. El efluente se transporta hacia el centro del tanque mediante una tubería que asciende por en el pilar central, para luego salir por la corona de distribución. En esta zona se coloca una campana deflectora diseñada para disminuir la velocidad del líquido y distribuir el flujo uniformemente en todas las direcciones, garantizando así una buena sedimentación.

Sobre el pilar central se instala el puente barredor radial de accionamiento perimetral, el cual gira a una velocidad de 1,5 m/min. Este está equipado con un barredor de lodos, el cual arrastran el lodo, llevándolo hacia la poceta de lodos en donde se encuentra la tubería de extracción.

En el perímetro del tanque se encuentran los vertederos, por donde pasa el líquido hacia el canal de recogida, el cual se conecta a través de una cañería de PCV de 300 mm con las cámaras equipartidoras que unifican el flujo y lo dirigen hacia la cámara de equipartición que precede a las lagunas de estabilización.

3.3. Tratamiento secundario

Lagunas de estabilización

El efluente proveniente de los sedimentadores primarios es dirigido hacia una cámara de equipartición que lo distribuye por gravedad hacia las cuatro series de lagunas que operan en paralelo. Como se especificó anteriormente, cada serie está compuesta por dos lagunas de estabilización, L1 y L2. Las L1 tienen una superficie líquida de 24193,5 m² y operan con un TRH de 18 días. Las L2 tienen una superficie de 8064,5 m² y operan con un TRH de 5 días.

Tanto en las lagunas existentes como las nuevas los taludes y el fondo serán protegidos con una membrana de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1 mm de espesor.

El efluente pasa de las L1 a las L2 y hacia la cámara de recogida a través de cañerías de PVC de 250 mm. En las conducciones de salida se colocará un Te 90°C de PVC del mismo diámetro para asegurar que no ingresen las algas que se encuentran en la superficie de las lagunas.

3.4. Desinfección

Cámara de cloración

Por último, el efluente pasa hacia la cámara de contacto en la cual se realiza la desinfección con una solución de hipoclorito de sodio. Para el Q_m se utilizarán 561 L/d de una solución de 100 g/L de cloro libre, mientras que para el Q_p serán necesarios hasta 1878 L/d de la misma solución. Esta se almacena en tanques aptos para contener productos químicos, los cuales se encuentran resguardados en una casilla especialmente construida. De allí se bombea la solución mediante una bomba dosificadora y es dirigida hacia la cámara de contacto a través de tuberías de

polietileno de alta densidad (PEAD). La cámara de contacto fue diseñada con el fin de asegurar un tiempo de contacto entre el efluente y el desinfectante de alrededor de 30 minutos.

A la salida de la cámara de contacto el efluente pasa al canal de irrigación que lo lleva a los ACRES.

4. Memoria de cálculo

4.1. Pre-tratamiento

Sistema de rejas

La primera operación que se lleva a cabo es el desbaste en el sistema de rejas, el cual consiste en la remoción de los sólidos gruesos por intercepción. La finalidad de esta operación es evitar obturaciones o posibles daños de las unidades siguientes, especialmente en bombas, válvulas y conducciones. El tipo de residuos retenido en estas unidades suele estar compuesto por piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, plásticos y trapos.

Dimensiones y equipamiento

La cámara de desbaste se encuentra a una profundidad de 4,20 m con respecto al nivel del suelo. El efluente proviene de una cámara de derivación, en la cual descarga la colectora máxima, a través de una cañería de PVC con diámetro nominal del 630 mm. El diseño del sistema de rejas se hizo con el Q_p , verificándose para el Q_m .

Los parámetros de diseño para las rejas fueron adoptados siguiendo la bibliografía²⁵. Estos se especifican en la Tabla 20.

Rejas de limpieza automática	
Parámetro	Valor
Ancho de barra, a (m)	0,015
Profundidad de barra (m)	0,025
Separación entre barras, w (m)	0,050
Pendiente, θ (grados)	50°

Tabla 20. Dimensiones y configuración del sistema de rejas de limpieza automática

Se toma un ancho de canal (B) de aproximadamente 0,60 m para estimar el número de barras, lo cual se hace según la siguiente Ec. (8):

$$N^{\circ}b = \frac{B}{a+w} = 9,23 \quad \text{Ec. (8)}$$

Se colocará entonces un sistema de rejas con 10 barras. Si se toma en cuenta un adicional de w y que el ancho del sistema de rejas total es aproximadamente 0,05 m mayor al ancho efectivo, se obtiene un valor final de B igual a 0,77 m.

^{25,7} Material de clase, Procesos Industriales (2016)

El canal fue diseñado con el software HCANALES, en la Tabla 21 se muestran los parámetros que fueron adoptados y los resultados obtenidos.

Canal de desbaste	
Parámetros adoptados	
Caudal, Q_p (m ³ /s)	0,24
Ancho, B (m)	0,77
Largo, L (m)	5
Rugosidad (hormigón)	0,014
Pendiente (m/m)	0,002
Parámetros obtenidos	
Tirante (m)	0,31
Área hidráulica (m ²)	0,09
Velocidad de paso (m/s)	0,99

Tabla 21. Dimensiones del canal de desbaste

La velocidad de paso verifica para los límites establecidos en bibliografía, entre 0,6 y 1 m/s a Q_p , de manera que los resultados expuestos en la Tabla 21 son los definitivos. En la Figura 13 se muestra un corte lateral del canal de desbaste.

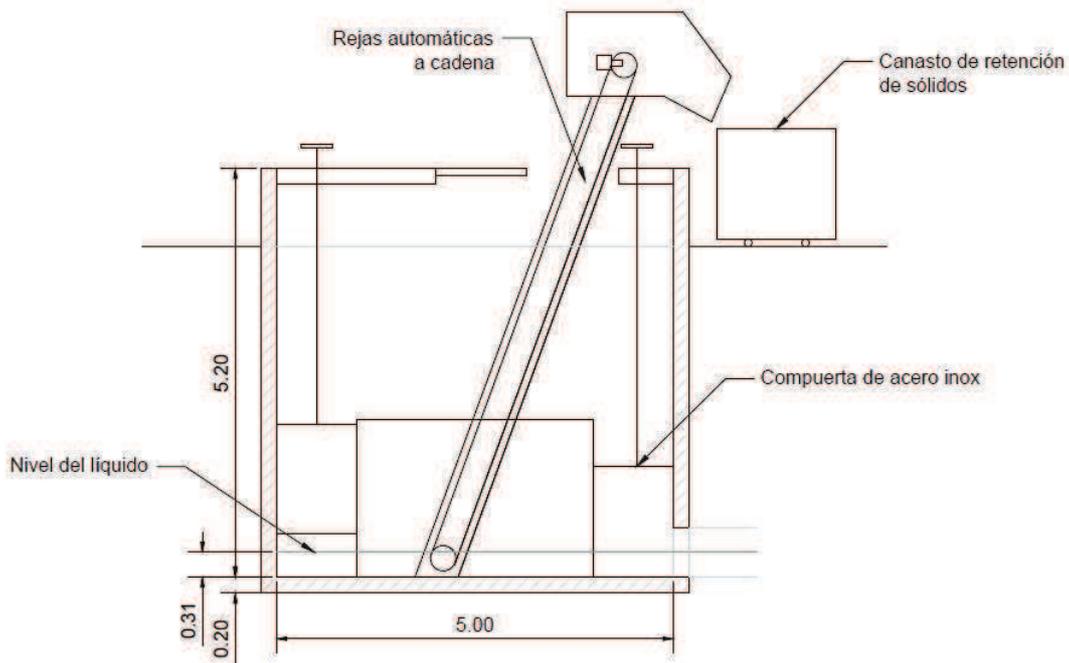


Figura 13. Canal de desbaste

Estación de bombeo

Actualmente el ED de Rivadavia cuenta con una estación de bombeo conformada por una cámara húmeda, la cual recibe los efluentes cloacales directamente desde la colectora máxima y los eleva unos 6 m aproximadamente. Esta será reacondicionada para cumplir con las nuevas demandas de bombeo. Además, deberá ser modificada para poder funcionar en seco, según lo establecen los requerimientos de AySAM.

Debido a que las obras de refuncionalización deben llevarse a cabo con la el ED en funcionamiento, para realizar las obras en la estación de bombeo se construirá una cámara de bombeo húmeda en paralelo, la cual será provisoriamente utilizada como única cámara de bombeo mientras se realizan los trabajos de remodelación en la primera. Estos trabajos incluyen el vaciado de la cámara ya existente, la remoción de lodos y la limpieza de la misma, seguido de la construcción de una nueva estructura en hormigón armado. Una vez finalizadas estas obras, se conectará la cámara seca con la cámara húmeda.

Dimensiones y equipamiento

La actual cámara húmeda que será refuncionalizada para operar como cámara seca mantendrá sus dimensiones actuales. La nueva cámara a construir tendrá las mismas dimensiones que la cámara existente y se ubicará a aproximadamente dos metros de la misma. Las dimensiones de ambas cámaras se especifican en la Tabla 22.

Dimensiones de cámara seca y húmeda	
Profundidad (m)	6
Ancho (m)	4,5
Largo (m)	4,5

Tabla 22. Dimensiones de las cámaras de la estación de bombeo

La elección de las electrobombas se hizo utilizando la curva de sistema provista por AySAM en el pliego (Figura 13), la cual tiene en cuenta la altura a la cual se quiere elevar el líquido, aproximadamente 7 m, y las pérdidas de altura por fricción aproximadas. Se instalarán tres bombas, de las cuales dos funcionarán alternándose o en paralelo en caso de que se registre un pico de caudal, y una tercera de reserva. Cada bomba individualmente deberá trabajar entonces a un caudal de 100 l/s (caudal medio de diseño) y una altura de bombeo de 8 m aproximadamente.

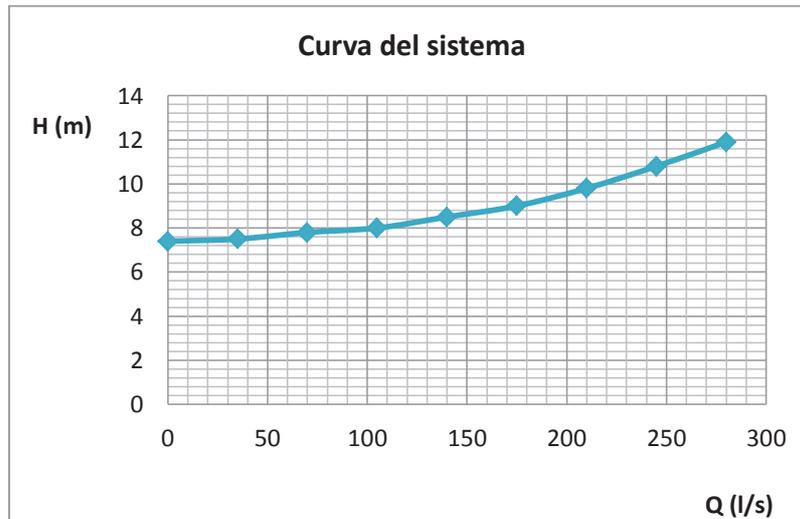


Figura 13. Curva del sistema

Se eligió como proveedor de los equipos a la firma Grundfos, debido a que presentan una gran variedad de electrobombas aptas para cloacales y tiene varios distribuidores en el país. En el sitio web de la marca se ingresó el punto de trabajo deseado para comparar con las curvas de los diferentes equipos. Se seleccionó el modelo S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA (96810375)²⁶. Esta bomba cumple con los principales requerimientos establecidos por AySAM:

- está diseñada para bombear aguas cloacales sin filtración previa
- es apta para funcionamiento en seco (vertical) y en húmedo
- tiene un diámetro de entrada de más de 100mm
- puede funcionar de manera intermitente o en continuo

En la Figuras 14 y 15 se observan las curvas de rendimiento de la bomba²⁷ para los casos contemplados:

- caudal de llegada Q_m , una bomba trabajando
- caudal de llegada Q_p , dos bombas trabajando en paralelo

²⁶ La ficha del equipo con las especificaciones técnicas se encuentra en el Anexo 4.

²⁷ Altura, potencia, eficiencia (de la bomba y el motor combinadas) y NPSH (Altura neta de aspiración requerida, ANPAR) en función del caudal.

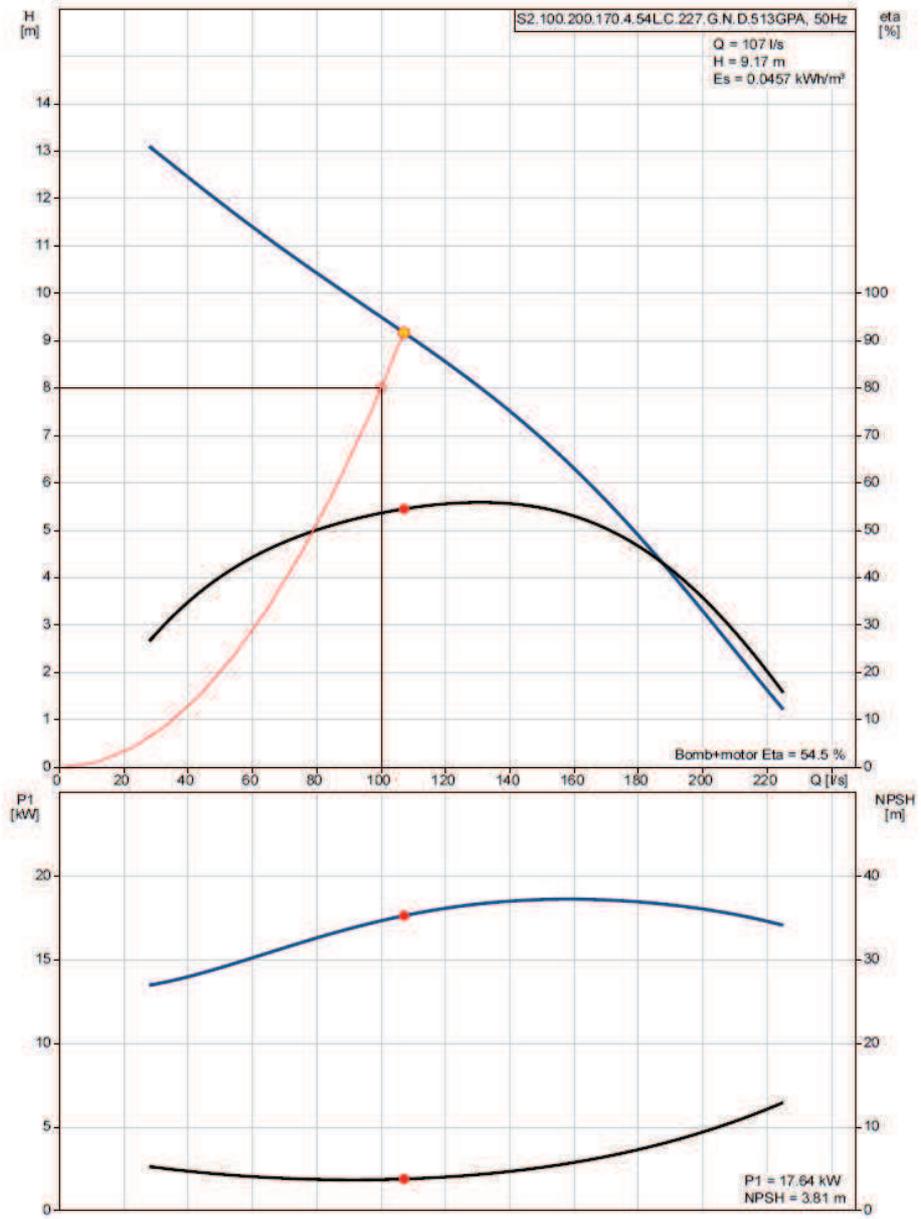


Figura 14. Curvas bomba modelo Grundfos S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA, una bomba operando a Qm

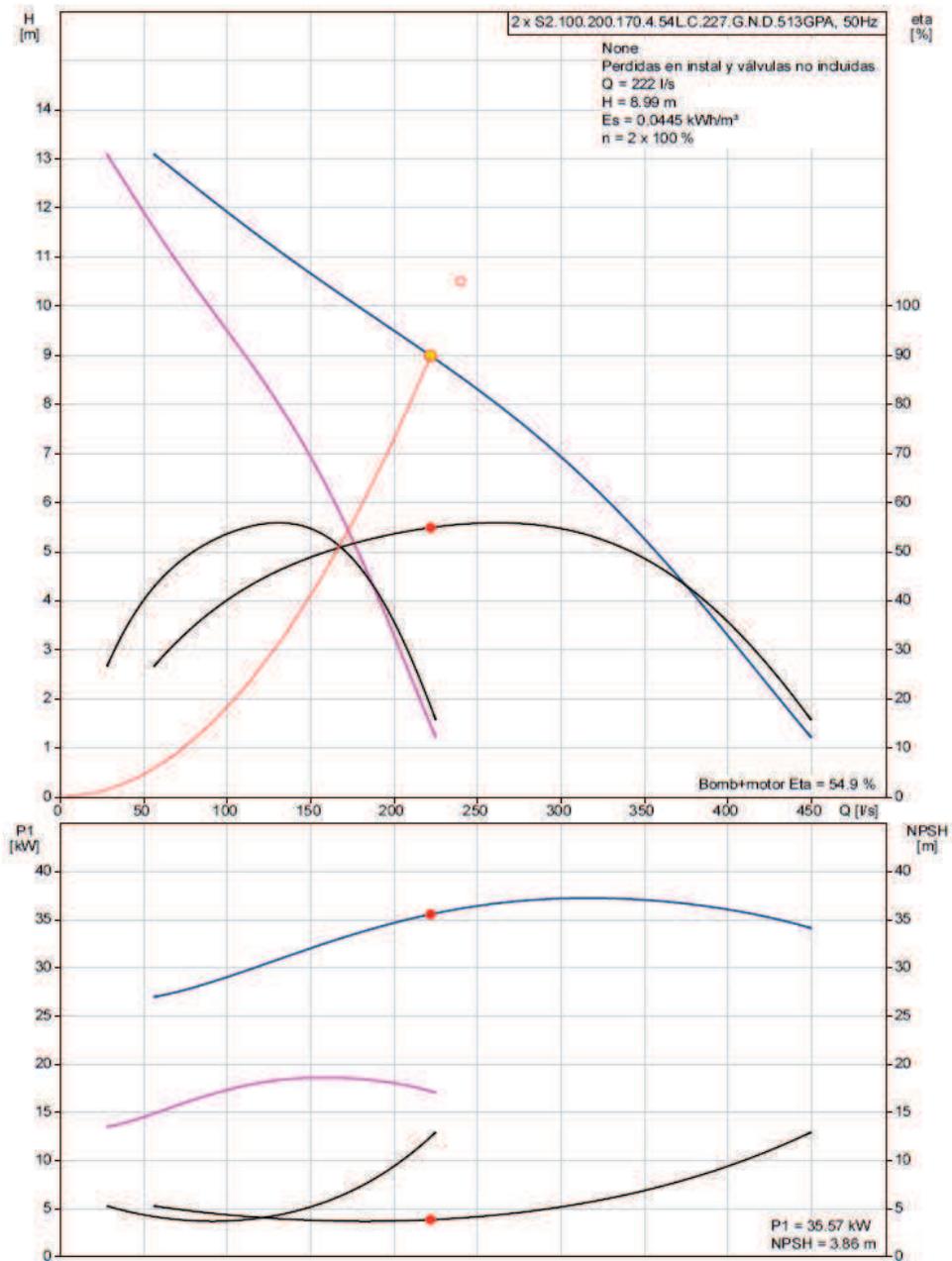


Figura 15. Curvas bomba modelo Grundfos S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA, dos bombas operando a Qp

Se calculó la altura neta de aspiración disponible (ANPAD) en ambos casos para corrobora que esta sea mayor que el valor de ANPAR indicado en las curvas de la bomba con la Ec. 9:

$$ANPAD = H_{succ} - \frac{P_{vap}}{\rho \cdot g} \quad (Ec. 9)$$

Los valores de presión de vapor y densidad son los del agua a 20°C. Los valores de caudales operativos, altura de la bomba, ANPAD y ANPAR se observan en la Tabla 23.

	Una bomba	Dos bombas en paralelo
Q (l/s)	107	222
H (m)	9,17	8,99
ANPAR (m)	3,81	3,86
ANPAD (m)	8,93	8,405

Tabla 23. Parámetros operativos de las bombas centrífugas

4.2. Tratamiento primario

Desarenador-desengrasador

El objetivo de esta unidad es lograr la remoción de los sólidos suspendidos más gruesos, denominados arenas, y de las grasas y aceites que se encuentren presentes en el efluente. Lo primero se produce por sedimentación de los sólidos, lo cual genera un barro en el fondo de la unidad que debe ser removido, y lo segundo por flotación. Los procesos no se ven afectados el uno por el otro.

Dimensiones y equipamiento

Se pueden diferenciar tres zonas en estos equipos:

- Zona de desengrasado
- Zona de desarenado
- Zona de extracción de arenas o tolva

En primer lugar, se diseñó la zona de desarenado. Para esto se tomó un TRH de 14 minutos, de manera que el volumen (V) del reactor está dado por:

$$V = \frac{Q_m}{\theta} = 84 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec. 10})$$

Para calcular el área superficial (A_s), la superficie en planta del equipo, se tomó un valor de carga superficial (C_s) de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ de bibliografía para el Q_p :

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s} = 24,84 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 11})$$

El área transversal (A_t) se determina a partir de la velocidad horizontal de flujo (V_h) al caudal punta, para la cual se adopta un valor de bibliografía en $0,03 \text{ m/s}^{28}$:

$$A_t = \frac{Q_p}{v_h} = 8,05 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec. 12})$$

La longitud (L) y profundidad (H) del canal se calculan entonces según las siguientes ecuaciones:

$$L = \frac{V}{A_t} = 10,43 \text{ m} \quad (\text{Ec. 13})$$

²⁸ (Lozano Rivas, 2012)

$$H = \frac{V}{A_s} = 3,38 \text{ m (Ec. 14)}$$

Por último, el ancho (B) del canal se calcula según:

$$B = \frac{V}{L*P} = 2,38 \text{ m (Ec. 15)}$$

Se considera que la zona de desengrasado tendrá un ancho (b) equivalente a un tercio de la zona de desarenado, de manera que esta se calcula como:

$$b = \frac{B}{3} = 0,79 \text{ m (Ec. 16)}$$

Esta estará separada de la zona de desarenado por una pared divisoria de 0,1 m de espesor que deja pasar el líquido por debajo. El ancho total del equipo será entonces:

$$B_t = B + b + 0,1 = 3,27 \text{ m (Ec. 17)}$$

Los sólidos sedimentados serán recolectados en la zona de la tolva, la cual será purgada mediante una bomba una vez por semana. Se diseña una tolva de 0,50 m de profundidad con respecto de la zona de desarenador y un ancho de 1,48 m. El volumen total de la tolva es de 7,72 m³. Para verificar que este volumen sea suficiente, es necesario estimar el volumen de arenas acumuladas por semana. Se toma de bibliografía un 0,05 m³ de arena por cada 1000 m³ de agua residual a caudal punta (rango 0,004 a 0,2). El volumen estimado de arenas acumuladas en una semana es de:

$$V_{arena} = \frac{0,05*Q_p}{1000} * 7 = 7,30 \text{ m}^3/\text{semana (Ec. 19)}$$

El suministro de aire se efectúa mediante la instalación de difusores de burbuja gruesa que se colocan a 0,7 m del fondo del tanque. Se adopta un suministro de aire (S_a) de 5 m³/h.m². De esta forma, el caudal de aire a suministrar es:

$$Q_a = S_a * A_s = 420 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Ec. 20)}$$

Siendo que el peso específico del aire a 15°C es de 1,2 kg/m³, el requerimiento de aire se calcula como:

$$R_a = Q_a * 1,2 = 504 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ (Ec. 21)}$$

Los difusores elegidos son el modelo CB-300 de la empresa Repicky. De la ficha técnica se tomó que el flujo de aire suministrado por difusor es de 12,9 kg/h. Debido a que no es relevante la eficiencia de transferencia de oxígeno en este caso, con este dato se calculó directamente la cantidad de difusores necesarios:

$$N_{dif}^o = \frac{R_a}{12,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 39,07 \text{ (Ec. 22)}$$

Se colocaran entonces un total de 42 difusores. La densidad de distribución de estos difusores debe estar entre 0,5 a 3 difusores/m². Se distribuirán los difusores en filas, conteniendo 14 filas de 3 difusores cada una. La separación entre las filas es de 0,7 m.

El soplador elegido es el R1000 de la marca Repicky, el cual funciona con rotores giratorios. Las especificaciones este equipo son:

- Variación de presión: 500 mbar
- Caudal: 422 m³/h
- Revoluciones del rotor: 2250 rpm
- Potencia: 8,28 kW

En la Figura 16 se observa una vista frontal del equipo diseñado.

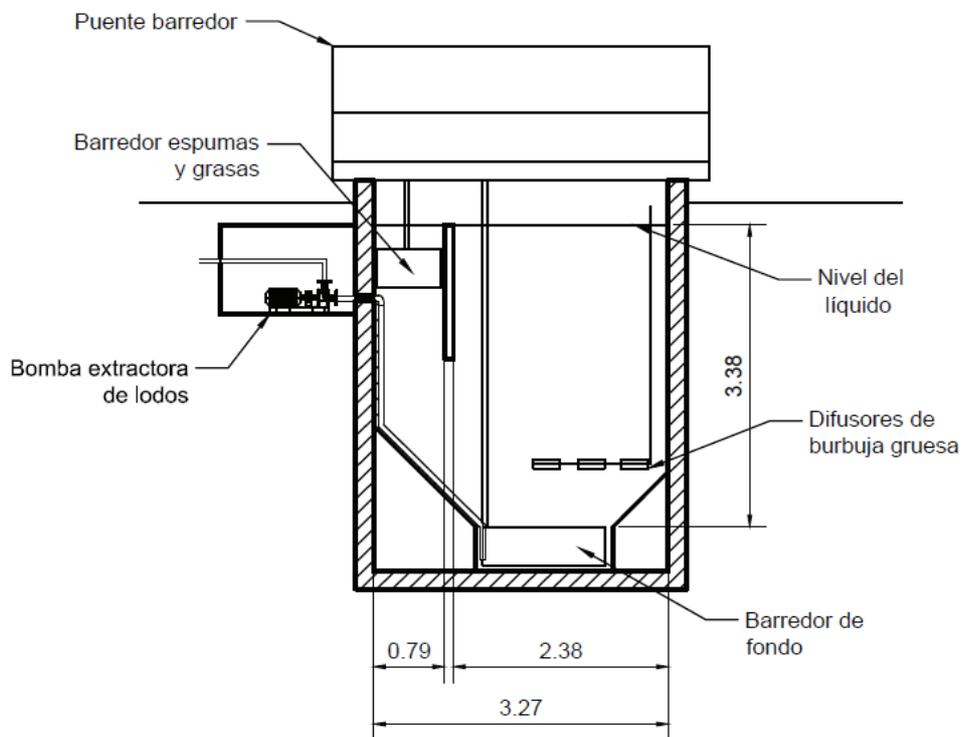


Figura 16. Desarenador-desengrasador

Sedimentadores primarios

En estas unidades se lleva a cabo principalmente la remoción de los sólidos suspendidos, lo cual también va acompañado de una cierta reducción de la carga orgánica y de la concentración de microorganismos patógenos.

Dimensiones y equipamiento

El dimensionamiento de estas unidades se hace en base a la carga de superficial (C_{sup}) elegida, la cual en este caso es de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ a caudal medio. Utilizando el valor de Q_m unitario ($Q_{m,u}$), se puede obtener el área superficial de cada tanque:

$$A_{sup} = \frac{Q_{m,u}}{C_{sup}} = 123,43 \text{ m}^2 \text{ (Ec. 23)}$$

Como se mencionó anteriormente, la geometría de las unidades es cilíndrica, de manera que el diámetro de cada tanque se calcula como:

$$D = 2 * \sqrt{\frac{A_{sup}}{\pi}} = 12,54 \text{ m} \text{ (Ec. 24)}$$

Por otra parte, es necesario adoptar un valor de TRH. Se tomó un valor de TRH de $1,5 \text{ d}^{-1}$ de bibliografía. Debido a las temperaturas relativamente bajas que se dan en la zona durante el invierno, se debe hacer una corrección de este valor mediante la adopción de un factor de seguridad. Se tomó un factor de 1,35, correspondiente a una temperatura mínima media de 10°C^{29} . De esta manera, el valor de TRH utilizado para el diseño es de 2 d^{-1} . Con este valor se estima el volumen útil de los tanques y la altura de los mismos según:

$$V_{sed} = Q_{m,u} * TRH = 364,5 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 25)}$$

$$H_{sed} = \frac{V_{sed}}{A_{sup}} = 2,95 \text{ m} \text{ (Ec. 26)}$$

La base del tanque tiene una ligera inclinación, formando una especie de cono invertido, llamado solera, que favorece la acumulación de fangos en el centro. Se elige una inclinación de 1:12, lo cual resulta en una altura de solera de 0,52 m un volumen de solera de $21,5 \text{ m}^3$.

Para estimar la producción de lodos, se estima que la eficiencia de remoción de SST en los sedimentadores es de 50%. Tomando la concentración de SST del efluente de entrada³⁰ se estima entonces los sólidos secos removidos (SSr) por cada 10^3 m^3 de efluente:

$$SSr = 0,5 * SST * 10^3 \text{ m}^3 = 75,5 \text{ kg} \text{ (Ec. 27)}$$

Se toma un peso específico (ρ_L) de $1,03 \text{ kg/m}^3$ y una concentración de sólidos del 6% de bibliografía para estimar el volumen de lodos removido por cada 10^3 m^3 de efluente (m^3):

$$V_L = \frac{SSr}{\rho_L * 0,06 * 10^3 \text{ m}^3} = 1,22 \text{ m}^3 / 10^3 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 28)}$$

Tomando el Q_m unitario, esto implica que la generación media de lodos diaria sería de:

²⁹ Se utilizó Figura 9-15, (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 541)

³⁰ Para este cálculo se asume que el valor de SST de entrada se mantiene

$$V_{L,diaria} = \frac{V_L * Q_{m,u}}{1000} = 5,28 \text{ m}^3/d$$

Este valor verifica con el volumen de la solera ya es que cuatro veces menor, por lo cual no hay riesgo de que la acumulación de lodos sea excesiva. El total de lodos purgados por día de los dos sedimentadores primarios es de 10,56 m³/d.

Por otro lado, se dimensionó la campana deflectora que se encuentra en el centro del tanque. Esta tendrá un diámetro de 2,15 m y una altura de 1 m.

Con respecto al sistema de barrido de lodos, se eligió un puente barredor de un brazo. Este cuenta con una viga puente giratoria que atraviesa el radio del tanque pileta, con pasarela peatonal incorporada. En el centro el puente barredor es soportado por un conjunto de apoyo central giratorio montado sobre el pilar central. El extremo externo del puente se apoya sobre un carro de traslación con ruedas, el cual está conectado con un motorreductor, lo cual en conjunto hace rotar a puente a una velocidad de 1,5 m/min. El puente cuenta con un barredor de fondo que está formado por láminas de forma de espiral logarítmica, las cuales permite transportar las partículas de lodo desde la periferia hasta el centro en solo una vuelta del puente barredor. En la Figura 17 se muestra un corte transversal del equipo.

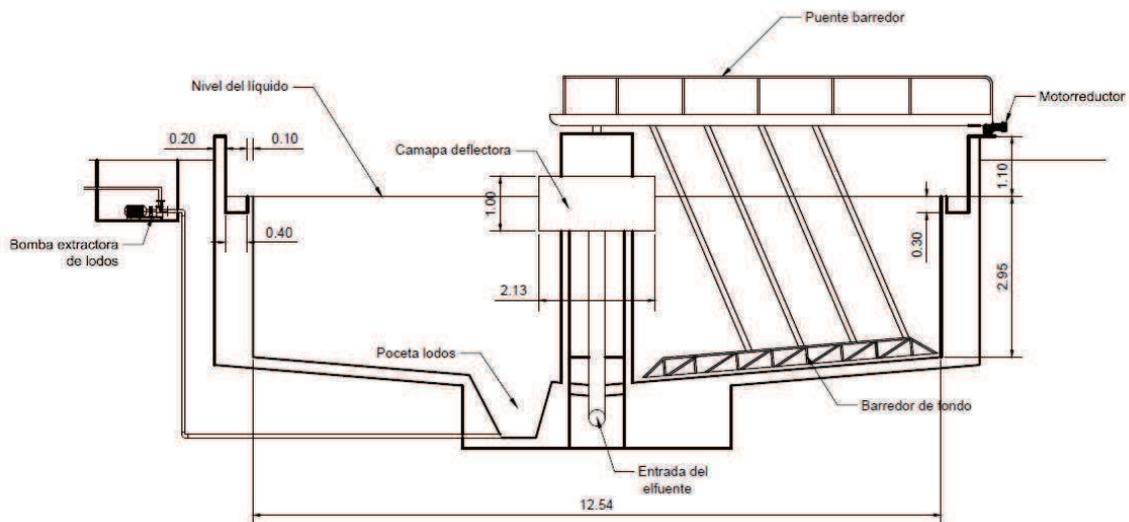


Figura 17. Sedimentador primario.

Remoción de contaminantes

Se adoptó un valor de remoción de SST de 50% como se mencionó anteriormente. Con respecto a la reducción de la DBO, se toma el valor mínimo propuesto por bibliografía, el cual es del 25%. Con

respecto a la reducción de microorganismos patógenos³¹, se consideró un porcentaje de reducción conservador del 0,3 en la escala logarítmica (Global Water Pathogen Project, 2018).

4.3. Tratamiento secundario

Lagunas de estabilización

Se operan en paralelo cuatro series de lagunas de estabilización, cada una compuesta por dos lagunas facultativas. Esto implica que en ellas se desarrollan microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y facultativos. Estos se distribuyen según la profundidad de la laguna, como se puede observar en la Figura 18. Los sólidos de gran tamaño que se encuentran en el efluente sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango comporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO₂, el H₂S y el CH₄, que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera (Metcalf & Eddy, 1995).

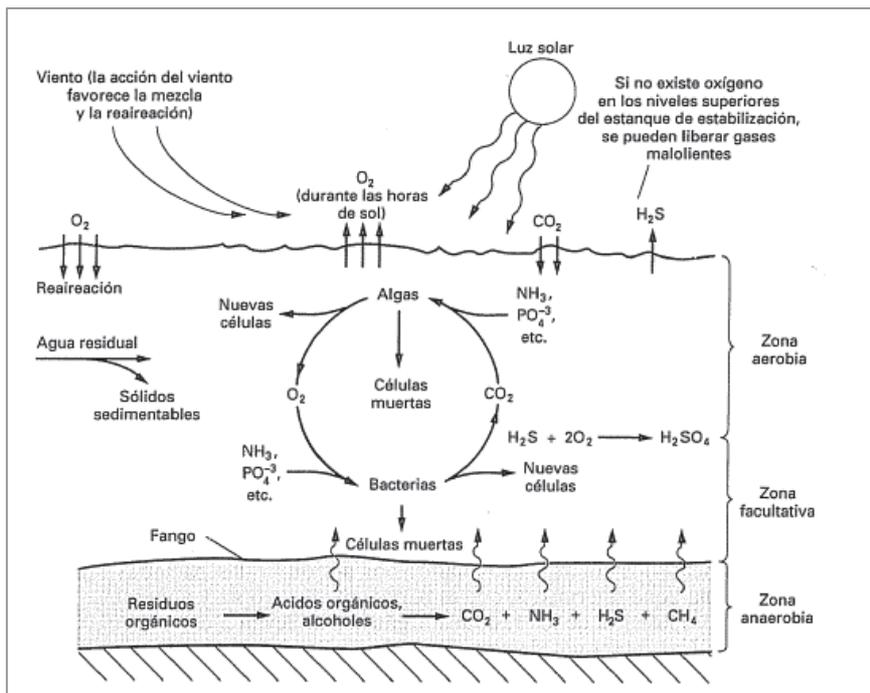


Figura 18. Representación de los procesos que se desarrollan en una laguna de estabilización facultativa. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

³¹ La reducción de bacterias en los sedimentadores primarios se produce por sedimentación directa o por absorción en los flóculos que sedimentan (Feachem, Bradley, Garelick, & Mara, 1983)

Es importante tener en cuenta que en las lagunas no solo se da la remoción de la materia orgánica carbonosa, sino que también hay una reducción del contenido total de nitrógeno y fósforo en el efluente. La remoción de nitrógeno puede ocurrir mediante cuatro procesos: 1) emisión del amoníaco gaseoso hacia la atmósfera, 2) asimilación de amonio en biomasa algal y bacterial, 3) consumo de nitrato por plantas y algas, y 4) nitrificación-desnitrificación biológica (Romero Rojas, 2005). La eliminación del fósforo se da principalmente por asimilación, bacterial y algal.

Una de las principales ventajas del tratamiento biológico en lagunas de estabilización es que permiten reducir e inactivar los microorganismos patógenos presentes. Los mecanismos por los cuales se eliminan las bacterias patógenas están relacionados con la incidencia de la radiación solar, una alta concentración de oxígeno disuelto, las fluctuaciones de pH y la competencia por alimento con las algas, protozoarios y otras bacterias (Flores, 2018). Los parásitos en cambio son eliminados por sedimentación, motivo por el cual es de suma importancia el TRH elegido.

Dimensiones y aspectos constructivos

Como se mencionó anteriormente las lagunas de estabilización mantendrán sus dimensiones, cambiando sus parámetros operativos debido al incremento de caudal proyectado y a la construcción de un nuevo tren de lagunas. Las dimensiones y los parámetros operativos al final del periodo de diseño se observan en la Tabla 24.

		Laguna primaria (L1)	Laguna secundaria (L2)
Altura del líquido, H (m)		1,8	1,5
Superficie	Ancho (m)	63,5	63,5
	Largo (m)	381	127
Talud interno		3:1	3:1
Volumen (m3)		39257	10849
Tiempo de retención hidráulica (d)¹		18	5

Tabla 24. Parámetros operativos de las lagunas de estabilización primarias (L1) y secundarias (L2)

Para asegurar la impermeabilización completa de las lagunas se colocará una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1mm de espesor. Las lagunas contarán con 4 entradas y salidas del a través de cañerías de PVC de DN 250 mm. Se cuenta con cámaras equipartidoras tanto como para distribuir el líquido a la entrada como para unificar los caudales de salida.

Las lagunas son semi-enterradas, lo cual implica que están conformadas en excavación y terraplenes o diques. Estos últimos deben prevenir los efectos de la erosión causada por el oleaje que se puede desarrollar a causa de los vientos, por las aguas lluvias y por las madrigueras de ratas y roedores. Los terraplenes tendrán una base de apoyo de 30 cm de grava. Para la construcción de los mismos se utilizará el material obtenido de la excavación. Como se muestra en la tabla 24 los taludes internos tendrán una inclinación de 3:1. Estos serán recubiertos en parte con hormigón armado, hasta por debajo de la de zona de la cañería, y en parte por la membrana de PEAD que recubre el fondo de la laguna. La altura de los terraplenes será de 0,50m por encima de la altura

del líquido. Los taludes externos tendrán una pendiente de 1,5:1 y estarán recubiertos con vegetación. El ancho del coronamiento se establece en 3 m.

Remoción de contaminantes

Las eficiencias de remoción de materia orgánica fueron estimadas previamente utilizando el método de Cubillos, lo cual resultó en que las L1 reducirán la DBO en un 80% y las L2 en un 73%, obteniendo una reducción total del 95% de la DBO.

Con respecto a la remoción del nitrógeno, esta se puede estimar según la Ec. 29:

$$N_s = \frac{N_0}{1 + \left[\left(\frac{A}{Q} \right) (0,0038 + 0,000134T) e^{(1,04 + 0,044T)(pH - 6,6)} \right]}$$

(Ec. 29) (Romero Rojas, 2005)

Dónde:

- N_s es el valor de nitrógeno amoniacal de salida (mg/l)
- N_0 es el valor de nitrógeno amoniacal de entrada (mg/l)
- A es el área superficial de la laguna (m²)
- Q es el caudal de diseño (m³/d)
- T es la temperatura (°C)

Se tomó esta ecuación ya que la magnitud del contenido de nitrógeno en el efluente crudo está disponible únicamente en referencia al nitrógeno amoniacal y no al nitrógeno total. El valor de temperatura utilizado es la mínima media anual. Los resultados se exponen en la Tabla 25.

	Laguna primaria (L1)	Laguna secundaria (L2)
N_0 (mg/l)	39,95	32,51
N_s (mg/l)	32,51	30,21

Tabla 25. Concentraciones de nitrógeno amoniacal a la entrada y salida de las lagunas de estabilización.

Se considera que el nitrógeno amoniacal a la salida del ED va a estar presente en forma de nitritos y nitratos únicamente.

Con respecto al fósforo, se deben tener en cuenta el consumo para el desarrollo de bacterias y algas. Por un lado, se asume que la relación carbono – nitrógeno - fósforo para garantizar el desarrollo bacteriano es de aproximadamente 100/5/1. De esta manera, sabiendo la eficiencia de remoción de DBO se estima que el consumo de fósforo para el desarrollo bacteriano es de 1,33 mg/L. Por el otro, se estima que la proporción de fósforo en las células algales es del 1,5% (Romero Rojas, 2005). Adoptando un valor de concentración algal de bibliografía³² de 15 mg/L, se obtiene que el consumo de fósforo para el desarrollo algal es de 0,23 mg/L. El consumo total de fósforo en las lagunas de estabilización es de 1,56 mg/L.

En cuanto a la concertación de coliformes fecales, la reducción en los valores de E. Coli se puede calcular a partir de la Ec. 30:

$$C = \frac{C_0}{1+K_b\theta} \text{ (Ec. 30) (Romero Rojas, 2005)}$$

Dónde:

- C es la concentración de E. Coli a la salida (NMP/100 ml)
- C_0 es la concentración de E. Coli a la entrada (NMP/100 ml)
- K_b es constante de remoción de coliformes fecales de primer orden (d-1)
- θ es el tiempo de retención

Los valores de K_b se estiman según ecuaciones empíricas, para este caso se toman las propuestas por Ramírez (1993)³³:

$$K_b = 1,41(1,40)^{T-20} \text{ Mezcla completa, laguna primaria}$$

$$K_b = 3,27(1,59)^{T-20} \text{ Mezcla completa, laguna secundaria}$$

Se utilizó la temperatura mínima media anual ya que esta es la que arroja los valores de eficiencia de remoción más bajos, la cual es de una reducción del 54,25%. Los resultados se reflejan en la Tabla 26.

	Laguna primaria (L1)	Laguna secundaria (L2)
C_0 (NMP/100 ml)	2,51E+07	1,33E+07
C (NMP/100 ml)	1,33E+07	1,15E+07

Tabla 26. Concentraciones de E. Coli a la entrada y salida de las lagunas de estabilización.

Para el estimar la remoción de huevos de helmintos se consideraron las velocidades de sedimentación de las especies más comunes de parásitos englobados bajo esta denominación (Tabla 1, Anexo 4). Se tomó la velocidad de sedimentación más baja, la de *Taenia saginata*, que es de 0,26 m/h (Suematsu, 1995). Para sedimentar por completo y pasar a formar parte de los lodos, esta especie necesita aproximadamente 6,9 horas, de manera que se puede asumir que en un TRH de 18 días como el de las L1 se sedimentarán el 100% de los huevos de helmintos.

4.4. Desinfección

Cámara de cloración

El objetivo de esta unidad es destruir o desactivar los microorganismos patógenos que todavía puedan encontrarse en el efluente para asegurar el cumplimiento de los límites de vuelco. Se eligió una desinfección de tipo química con cloro. Por cuestiones de seguridad, se seleccionó como especie de cloro el hipoclorito de sodio.

³³ Tomado de: (Romero Rojas, 2005, pág. 170)

Las principales variables a controlar son el tiempo de contacto entre el efluente y la dosis del desinfectante. Esto es así ya que cuando todas las variables físicas que influyen en el proceso de desinfección son estables, la eficacia de la desinfección es directamente proporcional a la dosis y el tiempo de contacto.

Para el caso de la desinfección con cloro, es importante tener en cuenta que parte del cloro añadido será destruido por los compuestos esencialmente reductores que se encuentran en el efluente y otra gran parte pasará a formar compuestos nitrogenados (cloro combinado). A partir de cierta cantidad de cloro añadido (punto conocido como breakpoint) se garantiza que en la mezcla se encontrará cloro libre disponible³⁴ para reaccionar con los microorganismos patógenos. Se llama cloro residual a la suma del cloro combinado y el cloro libre.

El tiempo de contacto sufrirá variaciones cuando se registren fluctuaciones de caudal, razón por la cual la dosis suministrada será controlada en línea y ajustada según corresponda para asegurar los objetivos de desinfección en todo momento. Es por esto que se considera que no será necesario llevar a cabo una declaración.

Remoción de contaminantes

La dosis de cloro y el tiempo de contacto se relacionan con la eficiencia de eliminación de patógenos a través de la Ec. 31:

$$\frac{N}{N_0} = (1 + 0,23 * C * t)^{-3} \quad (\text{Ec. 31}) \quad (\text{Metcalf \& Eddy, 1995})$$

Dónde:

- N es el número de organismos vivos en el instante t
- N_0 es el número de organismos vivos en el instante inicial t_0
- C es la concentración de desinfectante expresada como cloro residual, mg/l
- t es el tiempo de contacto, min

La concentración de E. Coli a la salida de las lagunas de estabilización es de 1,15E+07 NMP/100 ml y el valor al que se quiere llegar es de 3000 NMP/100 ml, de manera que relación $C * t$ va a estar dada por:

$$\frac{3000}{1,15 \times 10^7} = (1 + 0,23 * C * t)^{-3}$$

$$C * t = 63,7 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$$

³⁴ La cantidad de HOCl y OCl⁻ que se haya presente en el agua se denomina cloro libre disponible. El HOCl es entre 40 y 80 veces más desinfectante que el OCl⁻. Los compuestos nitrogenados también funcionan como desinfectantes pero sus velocidad de reacción son extremadamente lentas (Metcalf & Eddy, 1995).

Dimensiones y equipamiento

Se elige un tiempo de contacto de 30 min, lo cual resulta en una concentración residual de cloro de 2,12 mg/L. Tomando una curva de demanda de cloro para agua residual que contiene una concentración mínima de nitrógeno amoniacal y orgánico remanente³⁵ se obtiene que la dosis aplicada de cloro deberá ser de 6,5 mg/L. Se utilizará una solución de hipoclorito de sodio con 100 g/L de cloro libre, de manera que el consumo diario de esta solución para el Q_m será de:

$$C_{NaOCl-Qm} = \frac{6,5 \frac{mg}{L} * 8640 \frac{m^3}{d}}{100 \frac{g}{L}} = 561 L/d \quad (Ec. 32)$$

Para el Q_p la concentración de cloro residual estimada es:

$$C = \frac{63,7 mg \cdot min/L}{\frac{t}{f}} = 5,13 mg/L$$

Donde f es el factor de punta que relación el Q_m con el Q_p . En este caso, el consumo de la solución de hipoclorito será:

$$C_{NaOCl-Qp} = \frac{9 \frac{mg}{L} * 20866,11 \frac{m^3}{d}}{100 \frac{g}{L}} = 1878 L/d \quad (Ec. 33)$$

Se estima que la provisión de hipoclorito será semanal, de manera que la sala de dosificación debe contar con tanques que permitan almacenar hasta 10000 L de esta solución. En la sala también se encontrará la bomba dosificadora, la cual tiene un motor de velocidad variable incorporado. La bomba elegida el modelo DME 150-4 A de la marca Grundfos. La ficha técnica se encuentra en el Anexo 4. La solución es transportada hacia la entrada de la cámara de desinfección a través de una tubería de PEAD PN10 de 50 mm de diámetro.

La cámara de contacto debe permitir que entre el 80 y el 90% efluente permanezca dentro de la misma durante el tiempo de contacto especificado. La mejor manera de lograr esto es utilizando un tanque de laberinto con flujo pistón, en el cual la relación largo-ancho del canal de cloración sea aproximadamente 40:1 para evitar cortocircuitos.

Con el tiempo de contacto y el caudal medio se determina el volumen total de la cámara:

$$V = \frac{Q}{t} = 180 m^3 \quad (Ec. 34)$$

Se elige una altura efectiva para la cámara de 1,5 m, de manera que la superficie de la misma es:

$$S = \frac{V_c}{h} = 120 m^2 \quad (Ec. 35)$$

³⁵ (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 382)

Teniendo en cuenta este valor de S de la cámara, se elige un largo y ancho del canal de manera que se cumpla aproximada con la relación 40:1 la relación indicada:

$$\frac{L_c}{A_c} = \frac{55,38 \text{ m}}{1,3 \text{ m}} = 41,7 \text{ (Ec. 36)}$$

Como el canal va a estar dispuesto en forma de laberinto o de "s", es necesario determinar también cuáles serán las dimensiones finales de la cámara. Se elige un ancho de 5 m y un largo de 12 m. La cantidad de tabiques se determina a partir del ancho del canal y el largo total de la cámara:

$$N_t^o = \frac{L}{A_c} - 1 = 9 \text{ (Ec. 37)}$$

La distancia entra cada tabique será de 1,2 m. En la Figura 18 se muestra una vista superior de la unidad.

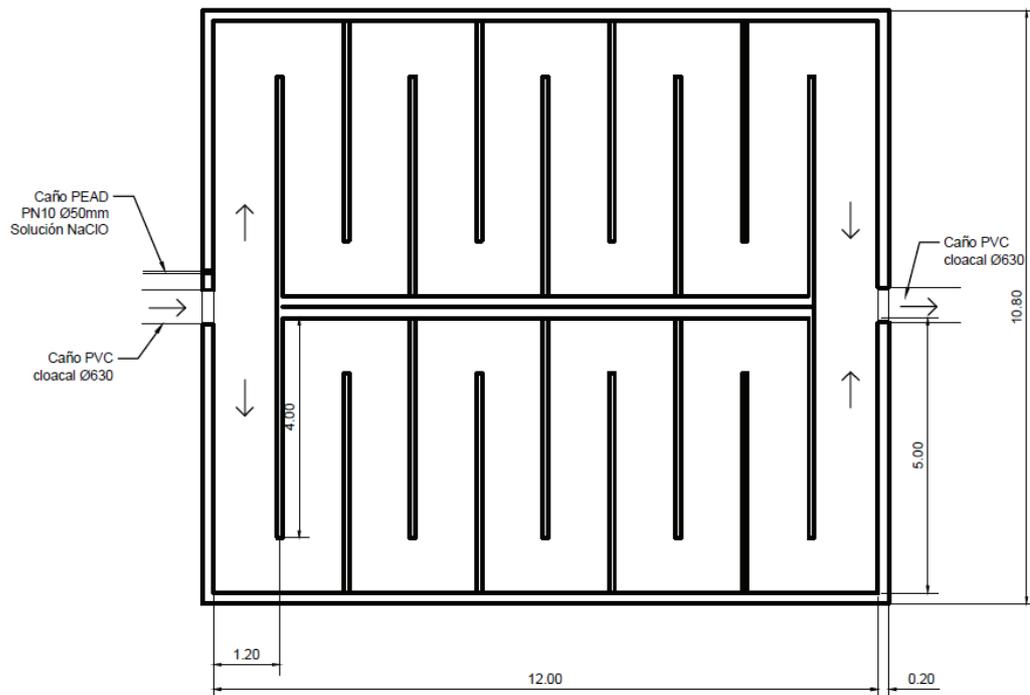


Figura 18. Cámara de cloración

4.5 Conclusiones

Se hizo una evaluación de la variación de los parámetros contemplados en la normativa a lo largo del tratamiento para determinar si efectivamente se cumplen con los límites de vuelco.

La concentración de materia orgánica disuelta, expresada como DBO5 y DQO, es modificada en las unidades de sedimentación primaria y lagunas de estabilización. En los sedimentadores, se estima que ambos parámetros se reducen un 25%. En cuanto a las lagunas de estabilización, se estimó

utilizando el modelo de Cubillos una reducción del 95% de la DBO5. Se asume que la relación DQO/DBO se mantiene, de manera que la reducción en la medida de DQO es también del 95%.

Los sólidos suspendidos totales son removidos en un 50% en los sedimentadores primarios. Debido a los largos tiempos de retención en las lagunas de estabilización se estima que este parámetro es menor a la salida de las lagunas. Se tomó un valor de bibliografía³⁶ de 50 mg/L de sólidos suspendidos a la salida del efluente, lo cual implica una reducción del 34% en esta unidad. Se asume que los sólidos sedimentables en 10 minutos serán removidos en su totalidad.

Se considera que la concentración de nutrientes, nitrógeno y fósforo, se reduce en las lagunas de estabilización únicamente, el nitrógeno en un 24% y el fósforo en un 11,12 %. Los cálculos para la obtención de estos porcentajes fueron explicados previamente.

Con respecto a la conductividad, se toma de bibliografía³⁷ un valor de reducción del 20% producto del tratamiento biológico. Esto está principalmente asociado a la remoción de nitrógeno.

Por último, en cuanto a los agentes patógenos contemplados en la normativa, en las lagunas de estabilización se logra una reducción del 54% en la concentración de E. Coli y un 100% en la concentración de Huevos de Helmintos. Los valores límites para E. Coli se alcanzan luego de la desinfección, en la cual se da una reducción del 99,97%.

Los valores de los parámetros de salida se exponen en la Tabla 27. Se puede concluir que los objetivos del tratamiento fueron alcanzados en su totalidad.

Contaminantes	Valor Salida	Limite Resolución 400/03 del HTA
DBO5 (mg/L)	7,61	30
DQO (mg/L)	17,63	70
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	100
Sólidos sedimentables en 10min (mg/L)	-	0,5
E. Coli (NMP/100 ml)	3000	3162
Huevos de Helmintos (huevos/1000 ml)	19,89	1
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	30,21	30 ¹
Fósforo total (mg/L)	12,44	-
Conductividad (µS/cm)	1548,16	2500

Tabla 27. Valores de los parámetros contemplados a la salida del ED. ¹Valor límite adoptado según EPA (EPA, 2012)

A modo de recomendaciones, es importante destacar la necesidad de estimar los valores de sodio, calcio y magnesio tanto a la salida como a la entrada del ED. Se tomaron valores típicos de las concentraciones de estos iones a la salida de un tratamiento secundario³⁸ para estimar un valor de

³⁶ (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 733)

³⁷ (Levin, 2007)

³⁸ Valores tomados de (National Research Council, 1996)

RAS³⁹. El resultado obtenido es de 0,1 puntos, de manera que estaría muy por debajo del límite que establece la normativa de 6 puntos. De todas formas, se considera de extrema relevancia la estimación del valor de RAS correspondiente al efluente que se utilizará para riego debido a que este parámetro tiene una relación directa con la fertilidad de los cultivos.

5. Obras complementarias

5.1 Tratamiento de lodos

En el apartado 2.2 *Deficiencias y problemas operativos* del CAPÍTULO 1 se describió la problemática asociada a la gestión de lodos que presenta actualmente el ED. Esto fue comprobado durante la visita al ED, en la Imagen 12 se observa la zona de descarga del efluente a las lagunas de estabilización L1. Como se puede ver hay zonas en las que el nivel del lodo llega casi a la superficie. Es por todo esto que se consideró como parte del proyecto incorporar el tratamiento de lodos generados en el ED.



Imagen 12. Zona de entrada del efluente a una de las lagunas de estabilización primarias.

³⁹ El RAS se calcula a partir de la siguiente ecuación: $RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$, siendo las concentraciones expresadas en me/L.

En primer lugar, se hizo un cálculo estimativo de la cantidad de lodos a tratar. Estos provienen del desarenador-desengrasador, los sedimentadores primarios y las lagunas de estabilización. Para las lagunas de estabilización facultativas la tasa de acumulación de lodo se puede suponer de $0,03 \text{ m}^3$ por persona por año (Romero Rojas, 2005). En la Tabla 28 se presenta la cantidad de lodos que se generan en cada unidad de tratamiento.

Unidad de tratamiento	Generación de lodos (m^3/d)
Desarenador-desengrasador	1,04
Sedimentadores primarios	10,56
Lagunas de estabilización	2,61

Tabla 28. Lodos generados en las diferentes unidades de tratamiento.

Las únicas unidades que tienen un aporte continuo de lodos son los sedimentadores primarios. Los lodos del desarenador-desengrasador son purgados una vez por semana. En cuanto a los lodos de las lagunas de estabilización, se calculó que en el período de un año los lodos acumulados representan solamente el 0,5% del volumen total de las lagunas. Es por esto que se plantea hacer el retiro de lodos una vez por año. Se considera que el 70% de lodos generados será acumulado en las L1 y el 30% restante en las L2. Esto implica que de cada L1 se removerá una cantidad de 166 m^3 por año y de cada L2 71 m^3 por año idealmente. Esto se llevará a cabo con la ayuda de tanques atmosféricos y serán recogidos los lodos de a una laguna por mes.

Se debe diferenciar entonces el tratamiento que se le da a los lodos primarios (aquellos provenientes del desarenador-desengrasador y de los sedimentadores primarios) del tratamiento de los lodos provenientes de las lagunas de estabilización.

El tratamiento elegido para los lodos primarios tiene principalmente dos objetivos: lograr una reducción en el volumen de los mismos y estabilizarlos para reducir su actividad biológica, evitando la putrefacción y reduciendo su contenido de microorganismos patógenos. En primer lugar se lleva a cabo entonces la estabilización con cal⁴⁰, se estima que serán necesarios 10 kg de cal por semana. Esto se lleva a cabo en un tanque de hormigón que cuenta con un mezclado mecánico. El tanque tendrá geometría cilíndrica, con 2 m de altura y 3,77 m de radio. Este recibe diariamente los lodos del sedimentador primario y una vez por semana los lodos y espumas del desarenador-desengrasador. Una vez por semana, de esta unidad los lodos son dirigidos hacia las playas de secado, en donde se reduce el contenido de humedad de los mismos mediante evaporación y percolación del agua contenida. Se eligió este tipo de proceso de secado ya que se dispone de superficie disponible para la construcción de las instalaciones y los costos de inversión inicial y operación son más bajos en comparación con otras tecnologías. Además, el producto final

⁴⁰ En el proceso de estabilización con cal se añade suficiente cal al fango para elevar su pH por encima de 12. Este valor elevado del pH crea un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos. Como consecuencia de ello, el fango no se pudrirá, no creará olores y no provocará riesgos para la salud pública (Metcalf & Eddy, 1995).

obtenido tiene suficiente contenido de sólidos (40 al 50%) y podría ser utilizado como acondicionador de suelos. Se deberá evaluar con anterioridad la calidad de los lodos secos obtenidos.

En cuanto a los lodos de las lagunas de estabilización facultativas, se considera que debido a la descomposición anaeróbica que se da en el fondo de las mismas los lodos extraídos se encuentran digeridos y estabilizados. Es por esto que serán llevados directamente hacia las playas de secado.

Según los requerimientos descritos previamente, se diseñaron cuatro playas de secado, cada una con un largo de 30 m y un ancho de 10 m. La altura del manto de lodo es de 0,3 m (Metcalf & Eddy, 1995). Las playas de secado están construidas en hormigón con un espesor 0,2m y una altura de contención de 1 m. La inclinación de la base es de 1,5% para permitir el escurrimiento del agua hacia canaletas de colección de PVC. El agua percolada es dirigida la unidad de desarenador-desengrasador.

Los lodos deshidratados serán enviados a disposición final, para lo cual se contrata una empresa tercerizada.

5.2 Adecuación de lagunas existentes

Las lagunas de estabilización existentes se encuentran totalmente faltas de mantenimiento. En la Imagen 13 se observa la zona de descarga del efluente en los vertederos de salida actuales. Esta junto con la Imagen 12 demuestran el estado actual de las lagunas, por lo cual dentro de las acciones de este proyecto se tuvieron en cuenta ciertas obras asociadas a la adecuación de las mismas.

Las obras que se llevarán a cabo para lograr la refuncionalización de las lagunas de estabilización existentes son las siguientes:

- Remoción de barros acumulados: se estima que una cuarta parte del volumen de las lagunas se encuentra saturada de barros. Estos serán removidos con mediante tanques atmosféricos y serán enviados a disposición final. Este proceso será tercerizado.
- Desmante
- Adecuación de terraplenes: los terraplenes existentes serán adecuados para que tengan las características descritas anteriormente.
- Colocación de membrana de PEAD para impermeabilizar el fondo y los taludes internos.
- Colocación de nuevas cañerías de entrada, salida y conexión entre lagunas.

Como se especificó anteriormente, las obras serán llevadas a cabo de a una serie de lagunas por vez, permitiendo así el funcionamiento del ED durante el desarrollo de las obras.



Imagen 13. Zona de descarga del efluente en una de las lagunas de estabilización secundarias.

5.3 Sistema de control

Con el fin de monitorear las características del efluente a lo largo del tren de tratamiento se construirán cámaras de muestreo y de medición de caudales. De esta forma no solo se podrán controlar que los objetivos de vuelco se cumplan sino que también será posible modificar los parámetros del tratamiento que son ajustables, como por ejemplo la dosis de hipoclorito de sodio.

La medición de caudales se llevará a cabo con caudalímetros de velocidad ultrasónicos. Estos cuentan con sensores de manera que la medición sea automática y continua. Se colocarán dos equipos en cámaras de hormigón armado. Estas se encontrarán a la entrada del ED y a la entrada de la cámara de cloración.

Por otra parte, se instalarán dos cámaras de medición en las cuales se colocarán las sondas de medición pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura. Estas se encontrarán luego de la estación de bombeo y a la salida de la cámara de cloración. En el canal de desbaste y en la cámara húmeda se colocaran sensores de nivel del líquido.

Los equipos permitirán realizar una medición en línea y los datos obtenidos serán visualizados en la sala de control, instalada en la oficina ya existente dentro del predio del ED. Esta será adecuada

y equipada con computadoras que permitan a los operadores de la planta tener un control continuo de las variables monitoreadas.

Por último es importante mencionar que la medición de otros parámetros como la concentración de nutrientes, sodio, cloruros, sulfuros, alcalinidad y dureza del agua será llevada a cabo por el Departamento Laboratorio de AySAM, el cual será encargado de establecer una planificación de muestreo determinada. Ellos también llevarán a cabo las mediciones pertinentes para establecer la calidad de los lodos generados.

6. Cómputo y presupuesto

6.1 Inversión inicial

En primer lugar se estimaron los costos asociados a la obra de ampliación y refuncionalización del ED. Se elaboró una planilla de cotización en la cual se distinguen los trabajos a ser realizados y las maquinarias a instalar, dicha planilla se encuentra en el anexo (Tabla 2, Anexo 4). Cada ítem incluye el costo de los materiales y de mano de obra. Los valores fueron obtenidos de: sitios web especializados en construcción, presupuestos de anteproyectos con antecedentes similares, contacto con proveedores vía email y personalmente.

En cuanto a la elección de materiales de construcción se tuvieron en cuenta las exigencias presentadas en el pliego de AySAM para los diferentes tipos de estructuras. Se considera que el equipo del Departamento de Estudios y Proyectos de AySAM que elaboró el pliego de licitación tuvo en cuenta las normas para Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103, debido a que como se detalla en el *CAPÍTULO 3. Estudios preliminares* el área de estudio se encuentra en una zona con muy elevada peligrosidad sísmica (zona 4). No se realizó un análisis en profundidad de dichas normas ya que se considera que esto escapa a los objetivos del presente proyecto.

El costo de inversión inicial obtenido es de USD 3.705.045,60 IVA incluido. Es importante mencionar que se comparó este valor con el presupuesto determinado por AySAM en el pliego de licitación, el cual es de ARS 113.977.990 IVA incluido. Este valor fue presentado en junio de 2018, de manera que si se actualiza el precio con la inflación⁴¹ el presupuesto a junio de 2019 sería de ARS 173.998.204. Tomando un valor de relación peso argentino/dólar estadounidense de 47, se obtiene que el presupuesto rondaría los USD 3.702.089. Podemos decir entonces que el presupuesto obtenido se ajusta a lo establecido por el requirente del proyecto. No se estiman costos asociados a la reutilización del efluente tratado ya que una vez conectado con el canal de riego el manejo del mismo pasa a ser responsabilidad DGI.

⁴¹ Se utilizó la web “Calculadora de inflación histórica de Argentina” <https://calculadoradeinflacion.com/>

6.3 Operación y mantenimiento

Los costos de operación están asociados al consumo energético de las instalaciones, la necesidad de insumos y servicios para el proceso de tratamiento y la mano de obra. También se contempla un cierto margen de costos asociados a reparaciones y mantenimiento de las instalaciones.

Las maquinarias que se tuvieron en cuenta para el cálculo de consumo energético son:

- Rejas automáticas a cadena 1,1 kW
- Electrobombas (a funcionamiento según Q_p) 35,37 kW
- Puente barredor de desarenador-desengrasador 0,55 kW
- Bomba de extracción de lodos desarenador-desengrasador 2,2 kW
- Sopladores 8,28 kW
- Puentes barredores de los sedimentadores primarios 0,8 kW
- Bombas de extracción de lodos sedimentadores 4,4 kW
- Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio 0,07 kW
- Luminaria (consideró como un 5% extra con respecto del consumo energético de las unidades del ED) 2,43 kW

Los precios de la energía eléctrica se obtuvieron del tarifario publicado por el Ente Provincial Regulador Energético (EPRE) el cual entró en vigencia a partir de la Resolución N° 146/19. Dicho tarifario se encuentra en el Anexo 4. El ED de Rivadavia califica dentro de la Tarifa 2 (T2) correspondiente a grandes demandas que tienen potencias instaladas mayores a 10 kW. Se considera que se recibe subsidio del Gobierno Provincial.

Los cargos fijos asociados al Cargo de Comercialización, Uso de Red y Consumo de Potencia rondan los USD 591,47. Los gastos variables relacionados con las horas de consumo por franja horaria dan un aproximado de USD 14598,04. En total, los gastos mensuales relacionados con el consumo energético son de USD 15189,51.

Los costos de insumos refieren a las necesidades de hipoclorito de sodio (solución al 100%) para el proceso de desinfección y de cal para la estabilización de los lodos. Como servicio se consideró el costo de disposición final de los lodos deshidratados. El conjunto de estos ítems alcanzan un costo de USD 10130,67 mensuales.

Con respecto al mantenimiento o reemplazo de las maquinarias e instalaciones, se tomó un valor aproximado para el costo anual del 10% de la inversión inicial. Esto representa USD 30875,38 mensuales.

Por último, en cuenta a la mano de obra para la operación del ED se consideró que serán necesarios: un jefe de planta, dos técnicos químicos, seis operarios y dos personas de vigilancia y seguridad. No se consideró personal de mantenimiento ya que estos dependerían de la central de AySAM. El costo total de los salarios es de USD 8191.

El costo total de operación y mantenimiento mensual es de USD 64.394,06. La planilla de cálculo con el desglose de los costos se encuentra en el Anexo 4. El costo mensual por m³ de efluente tratado es de 11,68 ARS/m³ o 0,25 USD/m³.

CAPÍTULO 5: Estudio de impacto ambiental

1. Introducción

Según lo establece la ley General del Ambiente N°5961 de la Provincia de Mendoza todos los proyectos, obras o actividades capaces de modificar, directa o indirectamente, el ambiente del territorio provincial deberán someterse a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La EIA es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valorización de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por las distintas autoridades públicas competentes (Cátedra EIA UNSAM, 2016).

Cómo se especificó en la sección 2. *Marco Normativo* del CAPÍTULO 2, el Decreto Provincial 1452/2003 establece puntualmente que los proyectos de construcción, ampliación o modificación de establecimientos depuradores, así también como la ejecución y manejo de ACREs, deben someterse a dicho procedimiento. Las etapas generales de la EIA en la Provincia de Mendoza son:

1. La presentación de la Manifestación General de Impacto Ambiental
2. La audiencia pública de los interesados y afectados
3. El dictamen técnico
4. La Declaración de Impacto Ambiental

La Manifestación General de Impacto Ambiental es en esencia un Estudio de Impacto Ambiental (EslA) que presenta el solicitante en carácter de declaración jurada. Este es un estudio técnico destinado a predecir, identificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que las acciones comprendidas en el proyecto puedan causar sobre la calidad de vida de los seres humanos y el ambiente. El Decreto provincial 2109/94 establece los requerimientos mínimos de este documento, los cuales se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Descripción del proyecto y sus acciones
- Línea de base ambiental especificando las características del medio en donde se emplaza el proyecto
- Identificación y valoración de los impactos ambientales
- Medidas de prevención y mitigación

A continuación se presentará entonces el EslA que se realizó en el marco del presente proyecto para cumplimentar con la normativa provincial. Es importante mencionar que la línea de base ambiental ya fue desarrollada en el *CAPÍTULO 2: Caracterización del área de influencia del proyecto*, por lo cual no se incluyó dicha información en este capítulo.

En cuanto a la identificación y valoración de los impactos ambientales, la metodología adoptada se basa en la elaboración de un matrices que relacionan las acciones de proyecto con los diferentes aspectos ambientales y que permiten cuantificar el impacto en caso de producirse. Los resultados de esta metodología son plasmados en una matriz general conocida como matriz de Leopold modificada. En base a los resultados obtenidos fueron propuestas las medidas de mitigación y prevención a ser tomadas durante las diferentes etapas del proyecto.

A efectos de abordar correctamente el presente EsIA se consideró la ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia y la reutilización de efluentes tratados en ACREs como proyectos paralelos.

2. Descripción del proyecto y sus acciones

2.1 Ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia

En el proyecto de ampliación y refuncionalización del ED se pueden identificar dos etapas: etapa de construcción y etapa de operación. A continuación se describen entonces dichas etapas, haciendo especial énfasis en la identificación de acciones que puedan generadoras de impactos. Vale aclarar que no se incluye en este análisis una etapa de cierre ya que se me fue informado durante la visita al ED que, alcanzada la capacidad del mismo a futuro, se realizaría una nueva ampliación debido a que el predio cuenta con el espacio disponible para la construcción de una nueva serie de lagunas facultativas y demás unidades de tratamiento.

2.1.1. Etapa de construcción

La etapa de construcción involucra todas las obras que se realizarán con el objetivo de ampliar la capacidad de tratamiento del ED y reacondicionar las unidades existentes. Debido a que esto se llevará a cabo con el ED en funcionamiento, el orden de los trabajos a realizarse es de suma importancia. A continuación se describen dichos trabajos en el orden en el cual deberán realizarse:

1. Construcción de nueva cámara húmeda con instalación de cañería de conducción temporal hacia las series de lagunas existentes
2. Construcción de cámara de bypass
3. Construcción de cámara de desbaste
4. Construcción de los sedimentadores primarios
5. Construcción de los desarenadores-desengrasadores con su respectiva sala de sopladores
6. Construcción de la cámara de contacto con su correspondiente casilla de cloración
7. Construcción de la nueva serie de lagunas facultativas
8. Sistemas de conexión entre las diferentes unidades de tratamiento

9. Construcción de playas de secado y tanque de estabilización de lodos
10. Terminación de las obras en la Estación de bombeo N° 1: adecuación de la cámara en seco
11. Limpieza, adecuación de terraplenes e impermeabilización de series de lagunas existentes

Todos los trabajos de esta lista incluyen la instalación de los equipos correspondientes. El total de los trabajos deberá realizarse en un plazo de 300 días corridos. Se pueden distinguir ciertas acciones que se estima tendrán lugar a lo largo del transcurso de la obra. Estas son:

- Compra de insumos y contratación de servicios

Las materias primas asociadas a la construcción serán adquiridas a proveedores locales. Lo mismo sucede con los servicios topográficos y de seguridad e higiene. En cuanto a los equipos necesarios para las diferentes unidades de tratamiento y control, se contemplan proveedores que operen en diferentes partes del país.

- Contratación de personal

El personal de construcción será contratado de manera local, mientras que los profesionales podrán ser de diferentes partes de la provincia.

- Instalación del obrador

Implica la incorporación de instalaciones temporales para el almacenamiento de materiales de construcción, herramientas y maquinaria necesaria, así como también un área para el personal.

- Transporte de materiales y personal

Se contempla el transporte de maquinaria, materias primas, suelos y personal dentro del predio del ED.

- Limpieza, nivelación y preparación del terreno

Estas acciones tendrán lugar en las áreas de emplazamiento de las nuevas unidades: sistema de rejillas y estación de bombeo (cámara húmeda), desarenador-desengrasador, sedimentador primario y serie N°4 de lagunas de estabilización. Incluye el desmalezado, la nivelación topográfica, la compactación y la cimentación.

- Movimiento de suelos

Las excavaciones se realizarán conforme a lo estimado en la sección de cómputo y presupuesto. Vale mencionar que parte del suelo de excavación será utilizado para la conformación de terraplenes de la nueva serie de lagunas de estabilización y la adecuación de los terraplenes existentes.

- Encofrado y hormigonado

La mayoría de las estructuras se realizarán en hormigón armado, de manera que estas acciones estarán presentes a lo largo de toda la etapa de construcción. Se prevé adquirir los hormigones de diferentes calidades ya pre armados.

- Instalación de cañerías

Incluye la colocación de las diferentes cañerías de conexión entre las unidades con su respectiva prueba hidráulica.

- Almacenamiento de materiales y equipos

Las materias primas y las maquinarias serán almacenadas en sitios propiamente delimitados.

- Derrame accidental de efluente cloacal crudo

Debido a que las obras se realizarán con el ED en funcionamiento, es necesario contemplar la posibilidad que durante las operaciones de conexión de las nuevas unidades a la línea de tratamiento se produzcan derrames de efluente crudo.

- Montaje de equipos

Una vez construidas las estructuras que soporten a los diferentes equipos, se procederá a la instalación física y eléctrica de los mismos, con las correspondientes pruebas de funcionamiento.

- Limpieza de lagunas existentes

La limpieza de lagunas de estabilización se realizará con tanques atmosféricos como fue descrito en la sección *5.1 Adecuación de lagunas existentes* del CAPÍTULO 4.

- Impermeabilización de lagunas facultativas

Incluye la colocación de las membranas de PEAD en el fondo y los taludes internos de todas las lagunas, nuevas y existentes, la termofusión de las mismas y el anclaje en los terraplenes.

- Generación de residuos de obra

Esta acción incluye, además de la generación, la recogida, el transporte y la disposición final. Vale destacar que la relevancia de esta actividad reside en los volúmenes que se generan y en la falta de control que hay a nivel provincial sobre la disposición final de este tipo de residuos. Dentro de los residuos de la construcción se pueden identificar materiales de limpieza de terrenos (ramas, árboles, vegetación), materiales de excavación (tierra, rocas de excavación, materiales granulares) y materiales de la construcción (restos de materiales, recipientes de materias primas). Los residuos especiales como restos de pinturas, adherentes, aceites de maquinarias, bidones de gasolina serán gestionados como tales.

- Implantación de arbolado perimetral

Incluye la plantación de árboles en todo el perímetro del terreno del ED, la distancia entre cada árbol será de aproximadamente 4m. También incluye el sistema de riego.

- Puesta en marcha de las nuevas unidades del ED

La puesta en marcha de las unidades sistema de rejillas y estación de bombeo (cámara húmeda), desarenador-desengrasador, sedimentador primario y serie N°4 de lagunas de estabilización tendrá lugar antes de la limpieza de las lagunas de estabilización existente. A medida que sean optimizadas las lagunas de estabilización se pondrán en funcionamiento, por lo cual vale aclarar que esta acción tiene lugar también durante la etapa de operación. Se contemplan posibles fallas en los equipos y una calidad de afluente del ED menor a la establecida en los objetivos de vuelco.

2.1.2. Etapa de operación

La etapa de operación tendrá una duración de 20 años, el tiempo de vida útil del ED. Dentro de esta etapa se desarrollarán las siguientes acciones:

- Capacitación del personal

Se buscará emplear personal que habite en la Ciudad de Rivadavia. Antes de que empiecen con sus tareas deberán asistir a una capacitación, cuyo alcance y desarrollo quedará en manos de AySAM.

- Tratamiento del efluente cloacal en las diferentes unidades

El tratamiento del efluente cloacal comienza en el canal de desbaste, en donde se retiran los sólidos gruesos mediante un sistema de rejillas a cadena. Estos sólidos son considerados como residuos peligrosos, por lo cual serán gestionados como tales. El servicio de retiro y disposición final será tercerizado. Posteriormente el efluente pasa a la cámara húmeda en donde se atenúan los picos de caudal y de ahí es bombeado mediante las electrobombas instaladas en la cámara en seco. El efluente es dirigido a presión hasta la unidad de desarenador-desengrasador en donde se retiran las grasas y espumas por un lado y los sólidos como arenas, gravas, cenizas, etc. El efluente pasa a los dos sedimentadores primarios, en donde se reducen en gran porcentaje los sólidos suspendidos. El efluente pasa por gravedad hacia las lagunas de estabilización, cuyo principal objetivo es la remoción de la materia orgánica disuelta mediante el desarrollo de microorganismos. Se operarán cuatro series de lagunas de estabilización, cada serie compuesta por dos lagunas, primaria y secundaria, ambas facultativas. El efluente pasa de las lagunas de estabilización hacia la cámara de contacto en donde se da el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio. El afluente del ED es dirigido hacia el canal de riego que se conecta con los ACRES.

Los insumos del proceso son energía eléctrica, agua (extraída de la red), solución de hipoclorito de sodio y cal. Los residuos generados son principalmente los sólidos removidos en el desbaste y los lodos generados a lo largo del proceso.

- Control y monitoreo del efluente

Esta acción comprende el monitoreo en línea de los siguientes parámetros: caudal, pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos. También contempla los controles regulares que hará AySAM mediante la toma de muestras y análisis en sus laboratorios.

- Tratamiento de lodos generados en el proceso

Paralela a la línea de tratamiento del efluente se encuentra la línea de tratamiento de lodos. En las unidades de desarenador-desarenador y sedimentadores primarios se generan lodos (“lodos primarios”) los cuales son bombeados hacia un tanque en el cual se realiza una estabilización con cal. Luego son dirigidos hacia las playas de secado en donde se extrae gran porcentaje de humedad de los mismos. Parte del líquido contenido en los lodos se evapora, mientras que otra fracción se escurre y es recuperada para ser enviada hacia la unidad de desarenador-desengrasador.

Los lodos generados en las lagunas de estabilización son dirigidos directamente hacia las playas de secado ya que se considera que estos se encuentran estabilizados. Una vez secados, los lodos son retirados y enviados a disposición final. Para esto último se contrata una empresa tercera que brinde el servicio.

En esta línea los insumos son la cal para la estabilización y agua para limpieza. Los residuos generados son los lodos secos y los efluentes el lixiviado de las playas de secado.

- Disposición final de residuos del proceso

Como se mencionó anteriormente, el servicio de disposición final de los lodos está tercerizado. Estos son dispuestos en un vertedero controlado. Los residuos del desbaste son considerados como residuos especiales, su disposición final también será tercerizada.

- Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento incluyen la limpieza de las instalaciones, desmalezado, control de plagas, reparación de estructuras y reparación/reemplazo de equipos.

2.2 Reutilización de efluentes tratados para riego en ACREs

En la reutilización de efluentes para el riego de cultivos se pueden identificar dos etapas: la incorporación de nuevos ACREs y la explotación de ACREs existentes. Es importante hacer esta diferenciación debido a que la primera etapa no será constante, solo se llevarán a cabo las acciones comprendidas en esta etapa a medida que se presente la necesidad de aumentar la superficie de riego. En cambio, la explotación de ACREs existentes es una etapa que se da continuamente debido a que ya hoy por hoy existen ACREs que utilicen las aguas del ED.

2.2.1. Incorporación de nuevos ACREs

Las acciones relacionadas con la incorporación de nuevos ACREs son:

- Evaluación de la aptitud

Los agricultores que deseen recibir aguas del ED para el riego de sus cultivos deberán someterse a una evaluación de aptitud por parte del DGI. Por un lado, se deberán controlar los tipos de cultivos, sistemas de riego empleados y destino final de las cosechas. También se evaluará la aptitud de la tierra conforme a los parámetros establecidos en la sección 4. *Evaluación del área de cultivo* del CAPÍTULO 3.

- Estimación de caudales de riego

Dado el tipo de cultivo, se deberá estimar qué caudal de riego recibirá el nuevo regante (lamina aplicada e intervalo de riego). La metodología para llevar esto a cabo es la misma a la expuesta en el CAPÍTULO 3.

- Capacitación de los regantes

El DGI deberá brindar cursos de capacitación en cuanto al uso correcto del recurso y a las medidas de seguridad e higiene que deberán tomar para no poner en riesgo su salud.

2.2.2. Explotación de ACREs

Con respecto a la explotación propiamente dicha, se puede identificar las siguientes acciones:

- Conducción del afluente hacia los ACREs

Implica la conducción del afluente hacia los diferentes ACREs a través de los canales de riego. Se contemplan posibles fugas y contacto con flora, fauna y seres humanos debido a que los canales son abiertos.

- Riego de cultivos

Esta acción incluye el almacenamiento de agua y distribución de la misma dentro de los ACREs. Vale destacar que el método de riego establecido en la sección 6. *Plan de reuso de efluentes tratados* del CAPÍTULO 3 es riego por surcos sin desagües.

- Cosecha

La cosecha de los frutos se realizará respetando las medidas de seguridad e higiene y las recomendaciones establecidas en la sección 6. *Plan de reuso de efluentes tratados* del CAPÍTULO 3. En el caso de los cultivos de vid y olivo se realiza una cosecha anual. Para el caso de los álamos, la tala se realiza una vez cada 5 años.

- Venta y distribución

Esta acción implica el transporte de la cosecha y la venta de la misma. Se estima que esto será a nivel local.

- Control de la calidad y uso del recurso

Los controles de calidad de agua serán llevados a cabo por el DGI. Estos controles se realizan más allá de que AySAM monitoree la calidad del afluente del ED.

Los controles referentes al uso que le dan los regantes al agua los realizan las inspecciones de cauce. Esta figura pública depende del DGI, aunque es elegida por los regantes de la zona. Se ocupan de la administración de los canales secundarios y terciarios.

3. Identificación y valoración de los impactos ambientales

Como se mencionó anteriormente, se eligió el método de la matriz de Leopold modificada propuesto por Conesa en 1997 para la identificación y valoración los impactos ambientales. Esta es una matriz del tipo causa-efecto en la cual se relacionan las actividades asociadas al proyecto con los factores ambientales del entorno susceptibles a recibir impactos. En el proceso de elaboración de la matriz se le otorga un cierto valor a los impactos, los cuales puede ser positivos o negativos. Esto permite obtener una apreciación cuantitativa de los impactos asociados al proyecto.

Las acciones que generan impactos ya fueron especificadas en la sección anterior. Los factores del ambiente que susceptibles a ser impactados se identificaron y se agruparon como se muestra en la Tabla 29.

Medio físico-natural	Aire	Calidad
		Ruido
	Agua	Calidad de agua superficiales
		Calidad aguas subterráneas
	Suelo	Calidad
		Estabilidad
		Drenaje
	Flora y fauna	Abundancia
		Diversidad
	Paisaje	Paisaje intrínseco
Componentes singulares		
Medio socio-económico	Población	Salud
		Generación de empleo
	Economía	Desarrollo agrícola
		Economía local y regional
	Infraestructura	Caminos
Servicios sanitarios		

Tabla 29. Factores del ambiente susceptibles a ser impactados

Para cada combinación de acción y factor ambiental se determinó entonces un impacto. Según la metodología elegida, la cuantificación de este impacto se hace en base a siete aspectos que lo caracterizan: Carácter (Ca), Intensidad (I), Extensión (E), Duración (Du), Desarrollo (De), Reversibilidad (Re) y Riesgo de Ocurrencia (Ro). El valor que se le asigna a cada uno de estos aspectos se detalla en la Tabla 1 del Anexo 5. Estos se relacionan según la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{Ca \times (I+E+Du+De+Re) \times Ro}{5} \quad (Ec. 38)$$

El resultado obtenido es entonces un valor de Calificación Ambiental (CA) para cada impacto. Según el valor de CA obtenido se puede calificar al impacto como se observa en la Tabla 30.

Impacto	Positivo	Negativo
Alto	8 a 10	8 a 10
Medio	4 a 7	4 a 7
Bajo	0 a 3	0 a 3

Tabla 30. Calificación del impacto ambiental según el valor de CA obtenido

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos para la ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia y para la reutilización de efluentes tratados para riego en ACRES.

3.1. Ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia

En la Tabla 31 se presenta la matriz de Leopold correspondiente a las dos etapas contempladas dentro de la Ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia.

	Medio físico-natural										Medio socio-económico						
	Aire		Agua		Suelo			Flora y fauna		Paisaje		Población		Economía		Infraestructura	
	Calidad	Ruido	Calidad de agua superficiales	Calidad aguas subterráneas	Calidad	Estabilidad	Drenaje	Abundancia	Diversidad	Paisaje intrínseco	Componentes singulares	Salud	Generación de empleo	Desarrollo agrícola	Economía local y regional	Caminos	Servicios sanitarios
Etapas de construcción																	
Compra de insumos y contratación de servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2	0	5,2	0	0
Contratación de personal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	5,2	0	0
Instalación del obrador	-1,96	-3,2	0	0	0	0	-1,02	-1,68	0	0	0	0	4,16	0	4,16	0	2,8
Transporte de materiales y personal	-4,8	-4,8	0	0	-0,22	-0,38	-0,28	-2,38	0	-1,6	0	-0,42	4,16	0	3,68	-6,3	0
Limpieza, nivelación y preparación del terreno	-3,84	-4,4	0	0	-3,22	-6,08	-4,32	-5,76	-3,68	0	0	0	4,16	0	4,16	-3,12	0
Movimiento de suelos	-4,32	-4,4	0	0	-3,78	-6,08	-4,32	-5,58	0	0	0	0	4,16	0	3,68	0	0
Encofrado y hormigonado	0	-2,38	0	0	0	0	-7,6	-4,48	0	0	0	0	4,16	0	4,16	0	0
Instalación de cañerías	-0,6	-1,6	0	0	0	0	0	-2,24	0	0	0	0	4,16	0	4,16	0	0
Depósito de materiales y equipos	0	0	0	0	-0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Derrame de efluente cloacal crudo	0	0	0	-1,12	-0,54	0	0	0	0	0	0	-0,1	0	0	0	0	0
Montaje de equipos	-0,28	-1,7	0	0	0	0	0	-1,28	0	0	0	0	4,32	0	4,16	0	0
Limpieza de lagunas existentes	-5,4	-2,04	0	6,4	0	0	0	-1,5	0	-1,6	0	0	3,68	0	4,16	-4,96	0
Impermeabilización de lagunas facultativas	-1,68	-1,12	0	6	0	0	-8,4	-1,76	0	0	0	0	4,32	0	4	0	0
Generación de residuos de obra	-2,38	-1,28	0	-0,6	-3,52	-3,1	-5,44	-4,96	-2,2	-2,16	0	-0,2	2,1	0	0,96	-0,92	0
Implantación de arbolado perimetral	3	-0,56	0	0	2,66	0,76	0	5,2	0	3,84	0	1,02	3,22	0	0,34	0	0
Puesta en marcha	-2,1	-2,52	0	-0,4	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	3,36	0	2,3	0	0
Etapas de operación																	
Capacitación del personal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,48	5,22	0	2,5	0	3,68
Tratamiento del efluente cloacal	-4,48	-3,36	8,2	6,6	4,68	0	0	1,7	1,4	2,76	2,52	6,12	7,2	4,96	3,96	0	6,48
Control y monitoreo del efluente	0	0	0	7,2	5,22	0	0	1,7	1,4	2	1,96	6,12	7,2	3	3,96	0	4,96
Tratamiento de lodos generados en el proceso	-4,64	0	0	4,8	4,86	0	0	1,7	1,4	2,76	0	6,12	7,2	0	3,6	0	3,72
Disposición final de residuos del proceso	-4,92	-1,28	0	-2,9	-5,28	-3,1	-5,44	-4,96	-2,6	-2,16	0	-0,2	3,6	0	1,04	-0,76	2
Tareas de mantenimiento	-0,92	-1,4	0	0	-1,1	0	0	-3,6	-4,32	0	0	3,22	4,5	0	0,6	0	1,52

Tabla 31. Matriz de Leopold modificada para la ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia

La calidad del aire se vería impactada por el uso de maquinarias como excavadoras, aplanadoras y camiones debido a la generación de emisiones gaseosas producto de la combustión fósil. También se contempla el desprendimiento de olores durante la limpieza de las lagunas existentes. Con respecto a los impactos de la etapa de operación, hay que destacar la generación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) que se desprenden a lo largo del proceso, especialmente en la unidad de desarenador-desengrasador debido a la aireación. A su vez se considera el desprendimiento de olores en la operación del ED en sí, principalmente en el tratamiento de lodos.

La generación de ruidos molestos en la etapa de construcción se da principalmente durante el desarrollo de las acciones de transporte de materiales, limpieza, nivelación y preparación del terreno y movimiento de suelos. Durante la etapa de operación los impactos en el ruido son bajos, principalmente porque se considera que estarán localizados únicamente en las unidades de bombeo y desarenador-desengrasador.

Como cuerpo de agua superficial se consideró el Río Tunuyán. Hay que destacar el gran impacto positivo que tiene el tratamiento del efluente cloacal, ya que este permite que los efluentes sean aptos para reutilización en ACREs y que no exista la necesidad de descargarlos en el curso del río, lo cual generaría diferentes presiones ambientales.

Las acciones comprendidas en la etapa construcción tendrán impactos negativos leves sobre la calidad de las aguas subterráneas. Estos están relacionados con el eventual derrame de efluente cloacal crudo y de materias primas. Sin embargo, se considera que la calidad de las aguas subterráneas se vería afectada positivamente debido a las acciones de limpieza de lagunas existentes e impermeabilización de lagunas. Este impacto se considera muy relevante debido a que hoy en día las lagunas no están aisladas, por lo cual estas acciones evitarían la percolación de efluente cloacal hacia la napa freática.

En la etapa de operación se consideran positivos los impactos generados por el tratamiento de los efluentes cloacales sobre la calidad de aguas subterráneas, debido a que estas evitan la degradación en las aguas subterráneas, principalmente en las áreas de riego.

Con respecto a los impactos en el suelo, es importante mencionar que sobre la calidad del mismo no se consideran mayores impactos negativos durante la construcción debido a que se trata de un área ya impactada, siendo que el ED se encuentra operando desde hace más de 20 años. Sin embargo si se consideran los cambios en la calidad del suelo de las zonas del ED que no se encontraban ocupadas anteriormente. Los impactos positivos sobre la calidad del suelo están asociados al tratamiento de efluentes, lodos y las acciones de control ya que se considera que estas actividades mejorarían la calidad del suelo ya degradado. Esto se destaca debido a que durante la visita al ED se me comentó que varios ACREs se encuentran con las tierras deterioradas.

La estabilidad estructural del suelo se verá impactada por todas las actividades que modifiquen el arreglo y la organización de las partículas constitutivas del mismo. En la etapa de construcción

estas son claramente el transporte de materiales, la limpieza, nivelación y compactación del terreno y el movimiento de suelos.

El drenaje del suelo se verá impactado negativamente por la modificación en las características del suelo y la construcción de estructuras durante la etapa de construcción. Vale aclarar que el impacto negativo sobre el drenaje del suelo que tendrá la impermeabilización de las lagunas no es relevante ya que este es un efecto deseado, buscado para evitar las infiltraciones.

En cuanto a la flora y la fauna, se considera que dentro de la etapa de construcción se disminuirá la abundancia de las mismas debido a remoción de malezas y el ruido generado. Las acciones de tratamiento de efluente y de lodos se consideran con impactos positivos sobre la abundancia y la diversidad ya que mejoraran las condiciones del ambiente en general. Las tareas de mantenimiento en cambio tienen un impacto negativo, ya que dentro de estas se contempla el control de proliferación de malezas o de vectores.

Con respecto al aspecto paisajístico, no se identificaron grandes impactos negativos. Esto se debe más que nada a que el área del ED ya se encuentra modificada. Se considera que las acciones que implican un intenso movimiento de vehículos pueden perturbar el paisaje de la zona durante la etapa de construcción. Los impactos positivos asociados al tratamiento del efluente y los lodos están relacionados principalmente a la conservación del paisaje rural. Como componentes singulares del paisaje se consideró el sistema de riego artificial que caracteriza la región y la presencia de viñedos y demás cultivos típicos. Se considera que las acciones referentes al tratamiento de los efluentes favorecerá el desarrollo de más zonas cultivadas, por lo cual el impacto sobre este es positivo.

En cuanto a los impactos en el medio socio-económico, se destaca el impacto positivo sobre la salud de las personas que tiene la operación del ED. También es de gran importancia la generación de empleo asociada al presente proyecto, tanto en la etapa de construcción como operación. Se considera a su vez que las acciones comprendidas en estas etapas tendrán impactos positivos en la economía local y regional.

Con respecto a la infraestructura del área de influencia, se detectaron impactos negativos en la etapa de construcción, más que nada debido al movimiento de vehículos en las diferentes acciones. En cuanto al acceso a servicios sanitarios, son relevantes los impactos positivos que tendrá el tratamiento de los efluentes cloacales y demás acciones referentes al funcionamiento correcto del ED.

Por último, es importante mencionar que los impactos negativos de la disposición de residuos, tanto durante la etapa de construcción como de operación, son producto de la disposición final en vertederos controlados. A pesar de que se cuente con una buena gestión, los impactos negativos principalmente sobre el medio físico-natural son inevitables. Se tuvieron en cuenta los impactos del transporte de estos residuos, la cual se realiza en camiones.

3.2 Reutilización de efluentes tratados para riego en ACREs

En la Tabla 32 se presenta la matriz de Leopold correspondiente a las dos etapas contempladas en la reutilización de efluentes tratados para riego en ACREs.

	Medio físico-natural											Medio Socio-económico					
	Aire		Agua		Suelo			Flora y fauna		Paisaje		Población		Economía		Infraestructura	
	Calidad del Aire	Ruido	Calidad de agua superficiales	Calidad aguas subterráneas	Calidad	Estabilidad	Drenaje	Abundancia	Diversidad	Paisaje intrínseco	Componentes singulares	Salud	Generación de empleo	Desarrollo agrícola	Economía local y regional	Caminos	Servicios sanitarios
Incorporación de nuevos ACREs																	
Evaluación de la aptitud	0	0	0	3,22	2,94	1,12	3,2	0	0	1,8	2,04	3,84	3,96	4,32	4,06	0	0
Estimación de caudales de riego	0	0	0	3,22	2,94	1,12	3,2	0	0	1,8	2,04	3,84	3,96	4,32	4,06	0	0
Capacitación de los regantes	0	0	0	3,22	2,24	1,12	2,88	0	0	1,8	1,7	5,8	4,14	4,32	4,06	0	0
Explotación de ACREs																	
Conducción del efluente tratado hacia los ACREs	0	0	0	-1,4	-0,96	0	-1,8	0	0	0	0	-1,36	0	4,68	3,5	0	0
Riego de cultivos	3,22	0	7,4	-5,6	-2,48	2,4	-3,52	3,24	-5,2	0	3,52	-1,6	5,22	5,8	4,64	0	0
Cosecha	0	0	0	0	-1,08	0	0	0	0	0	0	-1,6	5,22	5,8	4,64	0	0
Venta y distribución	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,6	5,22	6	6	-0,88	0
Control de la calidad y uso del recurso	0	0	0	2,1	2,5	0,56	1,92	0,8	0	1,5	2	2,2	2,8	2,1	1,6	0	0

Tabla 32. Matriz de Leopold modificada para la ampliación y refuncionalización del ED de Rivadavia

La calidad del aire se verá impactada positivamente debido al desarrollo de vegetación en los ACREs. Sin embargo, también existen impactos negativos debido a que la comercialización y el transporte de las cosechas se realizan en camiones, lo cual tiene asociado la emisión de gases de combustión. El tránsito de vehículos también tiene asociada la generación de ruidos.

Con respecto a las aguas superficiales, el Río Tunuyán, se identificó solamente el impacto positivo asociado a la utilización de efluentes tratados para riego. Se considera que esto disminuye la presión hídrica sobre la cuenca en general ya que se evita la toma de agua para el riego de las tierras convertidas en ACREs.

El impacto del riego con efluente tratado sobre las aguas subterráneas se considera negativo, principalmente debido al riesgo de contaminación que existe a pesar de que se tengan cuidadosamente controladas las variables intervinientes. Las acciones comprendidas en la etapa de incorporación de ACREs tienen en cambio un impacto positivo sobre la calidad de las aguas subterráneas, ya que aseguran que la explotación de los ACREs se haga de la manera más ambientalmente sostenible.

Lo mismo sucede con la calidad del suelo. Se identificaron principalmente impactos negativos debido a los riegos de degradación del suelo por riego con efluente cloacal tratado, lo cual es una realidad hoy por hoy. Las acciones relacionadas con una buena gestión de los ACREs tendrán en cambio impactos positivos.

En cuanto a la estabilidad del suelo, las actividades relacionadas con el desarrollo de ACREs tendrán impactos positivos ya que los agricultores usarían menores cantidades de fertilizantes y está comprobado que la gestión orgánica del suelo aumenta la estabilidad de sus agregados, debido al mayor contenido de materia orgánica y a la mayor presencia de macrofauna que mejora la estructura del suelo (FAO , 2009).

Por otra parte, se considera que la filtración en canales de conducción y los excesos de riego generan deficiencias en el drenaje del suelo, las cuales pueden tener como consecuencia la formación de freáticas superficiales (INTA, 2015). Es por esto que la acción de transporte del agua tratada tiene un impacto negativo al igual que el riego, ya que pueden existir deficiencias durante el desarrollo de estas acciones. Sin embargo, las acciones relacionadas con el control y la gestión de ACREs se consideran con impactos positivos ya que evitan la degradación de las condiciones de drenaje.

Los impactos sobre la abundancia de la flora y la fauna del riego son positivos debido a que están asociados al incremento del desarrollo de los cultivos. Con respecto a la diversidad, hay que destacar el impacto negativo asociado a la explotación de ACREs, ya que se considera que solo 3 especies serán cultivadas y el desarrollo de esta práctica puede propiciar que tierras con otros cultivos cambien su producción.

El aspecto paisajístico se verá positivamente impactado por las acciones de control y gestión sobre los ACREs ya que estas evitan el deterioro del paisaje rural y de los componentes singulares del

paisaje, los cuales en este caso son los sistemas de riego artificial que caracterizan la región y la presencia de viñedos.

Con respecto a los impactos en la salud de la población, se considera que todo lo que refiere a la explotación de los ACREs podría tener un impacto negativo debido a que existe el riesgo de que se realice un mal manejo de las aguas. En contraparte, las acciones tendientes a la buena gestión de los ACREs tendrán impactos positivos ya que buscan evitar lo mencionado anteriormente.

La generación de empleo, el desarrollo agrícola y la economía en general se verán impactados positivamente tanto en la etapa de incorporación de nuevos ACREs como en la explotación de los mismos. El riego con agua de reuso tiene asociada una mayor productividad de los cultivos, lo cual sumado a una buena gestión, genera evidentes impactos positivos en los aspectos mencionados.

4. Plan de prevención y mitigación

Una vez identificados y cuantificados los impactos del proyecto, se desarrolló un plan de prevención y mitigación en el cual se señalan medidas que se deberán tomar con el fin de aminorar o evitar los impactos negativos en el ambiente. Las medidas están agrupadas según los diferentes aspectos del ambiente contemplados previamente.

4.1 Medio físico-natural

4.1.1. Aire

- Control de emisiones gaseosas y ruidos

La maquinaria para el transporte en general y demás operaciones de la construcción (excavadoras, aplanadoras y camiones) deberán estar en buen estado de mantenimiento. Se deberá optimizar el transporte de materiales, reduciendo en lo posible las distancias a recorrer.

Las acciones que generen ruido deberán llevarse a cabo en horarios diurnos. Se deberá equipar al personal de construcción con las medidas protectoras necesarias.

Se deberá prohibir la quema de materiales y se contará con un plan de prevención contra incendios.

4.1.2. Suelo

- Delimitación de la circulación

La circulación de vehículos y maquinaria deberá verse limitada a los caminos debidamente indicados.

- Gestión de residuos

En primer lugar, se deberá hacer una segregación de residuos durante la etapa de construcción con el fin de separar aquellos que son inertes o no peligrosos (tierra, rocas de excavación, materiales granulares) de los residuos peligrosos (contenedores de hidrocarburos, lubricantes, pinturas, solventes). Estos últimos deberán ser almacenados en contenedores bien señalizados y resguardados para ser retirados posteriormente por un transportista habilitado. Deberá ser optimizada la reutilización de los residuos no peligrosos en el caso de ser posible. Los sitios de disposición final, tanto para los residuos peligrosos como no peligrosos, deberán ser legales y estar registrados en el listado de operadores de la Provincia de Mendoza.

En cuanto a los residuos de la operación, se propone como solución la generación de compost con los lodos deshidratados. Esto deberá ser previamente aprobado por el gobierno departamental ya que actualmente no existe ninguna regulación de este tipo en el Departamento de Rivadavia.

- Evaluación de ACREs existentes

El DGI deberá realizar una exhaustiva evaluación de los ACREs existentes con el fin de detectar aquellos en los cuales el suelo se encuentra degradado debido al uso de efluente cloacal tratado deficientemente. En estos casos, se deberá suspender la provisión del agua proveniente del ED.

4.1.3. Agua

- Instalación de freaímetros

Se deberá llevar un control de la calidad de las aguas subterráneas en el predio del ED, para lo cual se instalarán freaímetros. Teniendo en cuenta el sentido de escurrimiento del flujo del efluente en el ED, se determinó la posición de los mismos como se observa en la Imagen 14.



Imagen 14. Ubicación de freáticos en el predio del ED de Rivadavia

La instalación de estos freáticos deberá realizarse durante la etapa de construcción y deberá ser AySAM quien se encargue de realizar los controles.

Paralelamente, se recomienda la instalación de freáticos a lo largo del canal de conducción, así como en las zonas donde se concentran varios ACREs. La ubicación de los mismos y el control deberá ser llevado a cabo por el DGI.

- Control de la cloración

Durante la operación del ED se deberá evitar una cloración excesiva. Para esto se deberá asegurar en todo momento el buen funcionamiento de los aparatos de control de proceso y de la bomba dosificadora de cloro, para la cual se contará con un reemplazo. De ser posible, se buscará automatizar la dosificación de cloro para que se ajuste al caudal en línea. En caso de no ser posible, se deberá instalar un sistema de alarmas y para que un operario realice las correspondientes adecuaciones.

4.2. Medio socio-económico

4.2.1. Población

- Optimización de las inspecciones de cauce

El DGI deberá brindar cursos especializados en cuanto a la adecuada gestión de los ACREs a quienes sean elegidos para realizar las inspecciones de cauce en la zona. Además, deberá proveer los recursos necesarios para que estas inspecciones se realicen regularmente, instaurando un

régimen de control más intensivo que el que se realiza en las zonas en donde el agua de riego proviene de fuentes convencionales.

4.2.2. Economía

No se consideraron medidas de mitigación ya que todos los impactos sobre la economía serán positivos.

4.2.3. Infraestructura

- Construcción de caminos

Dado que la mayoría de los caminos de la zona son de tierra, se deberá incorporar dentro de las acciones del proyecto la construcción de caminos pavimentados, por lo menos en cuanto a lo que refiere el acceso al ED.

5. Conclusiones

Como cualquier actividad desarrollada por el ser humano, el proyecto impactará de diversas maneras en el ambiente. Al tratarse de un proyecto de saneamiento y de optimización del uso del recurso hídrico, se espera que los impactos positivos sean más significativos que a los impactos negativos. Esto se evidenció en el presente estudio, ya que se contabilizaron un total de 137 impactos positivos contra 99 impactos negativos. Esto mismo se observa en cuanto a la magnitud de los impactos, el valor promedio de CA de los impactos positivos es de 3,59 puntos, mientras que el valor promedio de CA de los impactos negativos es de -2,47 puntos.

Por último, es importante destacar que en medida que se cumpla con el plan de prevención y mitigación, los impactos negativos serán menores a lo identificado.

Conclusiones

En primer lugar es importante destacar que se alcanzó el objetivo principal del proyecto. Se logró dar respuesta a la problemática que enfrenta la Ciudad de Rivadavia con respecto a la gestión de sus efluentes líquidos de manera integral.

Partiendo del diagnóstico de la situación y de los estudios preliminares realizados con respecto al área de estudio, se elaboró en primer lugar un plan de reutilización de los efluentes cloacales tratados. Este plan establece los lineamientos principales a tener en cuenta para que esta práctica se desarrolle de manera sustentable, minimizando los riesgos de impactar negativamente el medio ambiente y la salud humana. El plan determina que las especies a cultivar en los ACREs son vid, olivo y álamo, siendo los cultivos de vid irrigados durante los meses de primavera/verano y los cultivos de olivo y álamo irrigados en los meses de otoño/invierno. Se brindan valores estimativos del área a irrigar según el cultivo y se establece que el DGI deberá organizar un sistema de turnos de riego entre los regantes de ACREs. Se determinó también que las tierras de la zona son aptas para el desarrollo de esta práctica.

Luego de la elaboración del plan de reutilización, se abordó el diseño de la refuncionalización y ampliación del ED de Rivadavia. En primer lugar se realizó una comparación entre el sistema de tratamiento propuesto en el anteproyecto de AySAM y un sistema de tratamiento alternativo. Se decidió seguir adelante con el sistema de tratamiento alternativo debido a que presentaba mejoras en cuanto a la superficie ocupada, los requerimientos energéticos, la eficiencia de remoción de contaminantes y la generación de lodos. La elección de una alternativa de tratamiento diferente de aquella propuesta por AySAM significa una mejora en cuanto a las condiciones originales del proyecto. El sistema de tratamiento elegido, sobre el cual se elaboró la memoria descriptiva y de cálculo, cuenta con: un sistema de rejillas de limpieza automática a cadena, una estación de bombeo, un desarenador-desengrasador, dos sedimentadores primarios, cuatro series de lagunas de estabilización y una cámara de cloración. Este sistema de tratamiento permite que el afluente del ED cumpla con los límites de vuelco establecidos en la normativa aplicable para reuso en ACREs.

Es relevante también destacar la interrelación entre los dos componentes principales del proyecto. El hecho de haber abordado en primer lugar la reutilización de los efluentes permitió establecer ciertos lineamientos significativos para el diseño del ED. De esta forma se buscó asegurar que ambas acciones sean compatibles y sostenibles en el tiempo, situación que no se daba hasta ahora.

Por último, vale destacar que los contenidos plasmados en el *CAPITULO 3: Reutilización de los efluentes tratados para irrigación* podrían ser utilizados como un manual para la aplicación del software CROPWAT en la región.

Bibliografía

- Auge, M. (2004). *Regiones Hidrogeológicas: República Argentina y Provincias de Buenos Aires, Mendoza, Santa Fe. La Plata.*
- AySAM . (2016). *Plan Estratégico* . Ciudad de Mendoza.
- Cátedra EIA UNSAM. (2016). EIA como proceso.
- Cleves Leguizamo, J. A., Martínez Bernal, L. F., & Toro, J. (2016). *Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación. Una revisión analítica.*
- Departamento General de Irrigación. (2016). *Aquabook*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de <http://aquabook.agua.gob.ar>
- EPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Washington, D.C. .
- EPA. (2012). *Water Reuse and Recycling: Community and Environmental Benefits*. Recuperado el 20 de abril de 2018, de <https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/#uses>
- European Sustainable Phosphorus Platform. (2011). *The Phosphorus Challenge* . Recuperado el 26 de abril de 2018, de : <https://phosphorusplatform.eu/links-and-resources/p-facts/p-fact-1>
- FAO . (2009). *Glosario de agricultura orgánica*. Roma.
- FAO. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Recuperado el 25 de 09 de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- FAO. (2002). *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. Roma.
- FAO. (2018). *9. PERMEABILIDAD DEL SUELO*. Recuperado el 26 de 12 de 2018, de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- FAO. (2018). *Land & Water*. Recuperado el 26 de 11 de 2018, de Crop Information: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/olive/en/>
- Flores, J. (2018). *UnCuyo*. Recuperado el 5 de 04 de 2019, de Procesos Biológicos: <http://www.uncuyo.edu.ar/desarrollo/upload/2-flores-comp.pdf>
- Gisbert Blanquer, J. M., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. (2014). *Entisoles*. Valencia.
- Globar Water Pathogen Proyect. (24 de Julio de 2018). *Preliminary Treatment and Primary Sedimentation*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <http://www.waterpathogens.org/book/preliminary-treatment#ref10405>

- IADIZA-CONICET. (2010). *Educación Ambiental Frente al Cambio Climático: Fascículo 12*.
- Ing. Hernández, J., Ing. Martinis, N., & Cdor. Fornero, L. (2012). *Modelación Hidrológica De La Cuenca Norte De Mendoza*. Centro Regional Andino (INA), Mendoza.
- INTA EEA Mendoza. (2017). Operación de riego por goteo: Herramientas de manejo, control y monitoreo en viticultura. Mendoza.
- Levin, E. (2007). *Conductivity measurements for controlling municipal wastewater treatment*. Stockholm.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Morábito, J. A., Martín, L., Sponton, L., Mariani, A., & Hernández, R. (2017). *Proyecto Meseta Intermedia: Perfil de Proyecto Componente Riego, Provincia De Chubut*.
- Municipalidad de Rivadavia. (2018). *Municipalidad de Rivadavia - Mendoza*. Recuperado el 20 de Junio de 2018, de Información de Rivadavia:
http://www.rivadaviamendoza.gob.ar/?page_id=664
- Municipalidad de Rivadavia. (2018). *Plan Renovación de la Red Cloacal*. Recuperado el 11 de octubre de 2018, de Rivadavia Mendoza:
http://www.rivadaviamendoza.gob.ar/?page_id=750
- National Research Council. (1996). *Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production*.
- Ojodeagua, & Castellanos. (2011). *Formulación de la solución nutritiva*. México.
- Pereira, L., De Juan Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). *El Riego y sus Tecnologías*. Albacete.
- Reta, J. (2003). *Administración de derechos de agua: Argentina (Provincia de Mendoza)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Servicio del Derecho para el Desarrollo.
- Riu, N., & Settepani, V. (2004). Requerimiento Hídrico en Álamos de 6 años. *FCA UNCuyo*, 63-68.
- Romero Rojas, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rousseaux, M. C., Searles, P., & Benedetti, J. (2008). Leaf-level responses of olive trees (*Olea europaea*) to the suspension of irrigation during the winter in an arid region of Argentina. *Scientia Horticulturae*, 115: 135–141.
- Suematsu, G. (1995). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES; OBJETIVOS Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN FUNCIÓN AL TIPO DE REUSO*. CEPIS.

Torres, E., & Zambrano, J. (2000). *Centro Científico Tecnológico Mendoza*. Recuperado el 23 de junio de 2018, de CATALOGO DE RECURSOS HUMANOS E INFORMACION RELACIONADA CON LA TEMATICA AMBIENTAL EN LA REGION ANDINA ARGENTINA:
<https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap05.htm#inhalt>

Anexo 1

Tabla 1: Composición del efluente a tratar efectuada por el laboratorio de AySAM desde septiembre de 2012 a agosto de 2016.

ED Rivadavia		pH (unidad de pH)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos en suspensión volátiles (mg/l)	Sólidos en suspensión fijos (mg/l)	Sólidos en suspensión totales (mg/l)	Sólidos sedimentables en 10 min (mg/l)	Sólidos sedimentables en 2 hs (mg/l)	D.B.O. 5 días. 20°C (mg/l)	D.Q.O. (mg/l)	E. Coli (NMP/100 ml)	Huevos de Helmintos (huevos/1000 ml)	Nitrógeno amoniacal (N-NH3) (mg/l)	Fósforo total (PO4-3) (mg/l)	Sulfatos (SO4-2) (mg/l)		
Entrada		COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.	PUNTUAL	COMP.	COMP.	COMP.	COMP.		
Año	Mes																
2012	9										2,90E+06						
	10	7,3	1890	140	40	180	3	3	175	422	6,03E+07	23				426	
	11	7,5	1970	180	80	260	2	4	218	536	3,88E+07	18		18			
	12	7,6	2100	100	22	122			203	467	8,73E+07	23					
2013	1	7,6	1950	70	10	80	<L/M	<L/M	108	281	5,45E+07	21					
	2	7,6	2020	113	38	151	3	3	207	405	3,51E+07	18	44	13		468	
	3	7,7	1950	120	14	143	1	2	177	363	2,75E+07	19	41				
	4	7,5	1930	120	20	140	2	2	161	352	5,13E+07	15	41			370	
	5	7,6	1990	172	71	243	1	2	239	465	3,43E+07	23	19	11		425	
	6	7,5	1850	125	25	150	1	2	196	398	4,35E+07	18	39			442	
	7	7,8	1980						3	3	174	375	3,50E+07	16	48		
	8	7,1	2000						1	2	259	537	3,58E+07	18	45		
	9	7,6	2010	80	20	100	1	2	176	389	7,10E+07	23	48				
	10	7,4	1890							148	502	4,43E+07	20				
	11	7,8	1890	70	20	90	1	2	155	461	1,29E+07	21	23			416	
	12	7,6	1930	100	50	150	2	3	178	416	7,13E+07	23	41				
2014	1	7,4	1900	65	20	85	2	2	113	398	6,40E+07	22	44				
	2	7,3	1920	60	20	80	0	1	154	468	5,30E+07	25	35				
	3	7,5	1830					4	4	236	523	6,68E+07	26	39			
	4	7,9	2400					1	2	242	582	4,37E+07	23	41			
	5	7,5	1800	140	120	260	3	4	224	537	8,53E+07	28	39				
	6	7,4	1810	100	30	130	1	2	195	359	4,70E+07	25	43				
	7	7,4	1840	130	50	180	1	2	252	483	5,13E+07	22	44				
	8	7,9	1800	90	40	130	0	2	161	340	2,60E+07	21	42				
	9	7,6	1920	143	43	186	3	4	220	474	4,88E+07	19	45				
	10	7,2	1800	110	50	160	2	3	122	337	8,53E+07	20	38				
	11										5,23E+07	18					
	12										6,48E+07	17					
2015	1										7,03E+07	16					
	2										4,30E+07	27					
	3										7,90E+07	23					
	4										4,70E+07	19					
	5										4,58E+07	22					
	6										5,95E+07	23					
	7										4,25E+07	23					
	8										5,65E+07	13					
	9										8,85E+07	17					
	10										5,98E+07	19					
	11										4,13E+07	15					
	12										3,41E+07	17					
2016	1										3,55E+07	18					
	2										2,83E+07	17					
	3										4,35E+07	18					
	4										5,68E+07	9					
	5										5,88E+07	16					
	6										4,00E+07	15					
	7										3,79E+07	28					
	8										4,56E+07	15					
Mínimo		7,1	1800,0	60,0	10,0	80,0	0,0	1,0	108,0	281,0	2,90E+06	9,0	19,0	11,0		370,0	
Promedio		7,5	1935,2	111,4	39,2	151,0	1,7	2,5	187,7	434,8	5,02E+07	19,9	40,0	14,0		424,5	
Maximo		7,9	2400,0	180,0	120,0	260,0	4,0	4,0	259,0	582,0	8,85E+07	28,0	48,0	18,0		468,0	

Anexo 2

Figura 1: Mapa climático de la Provincia de Mendoza. Fuente: CONICET Mendoza

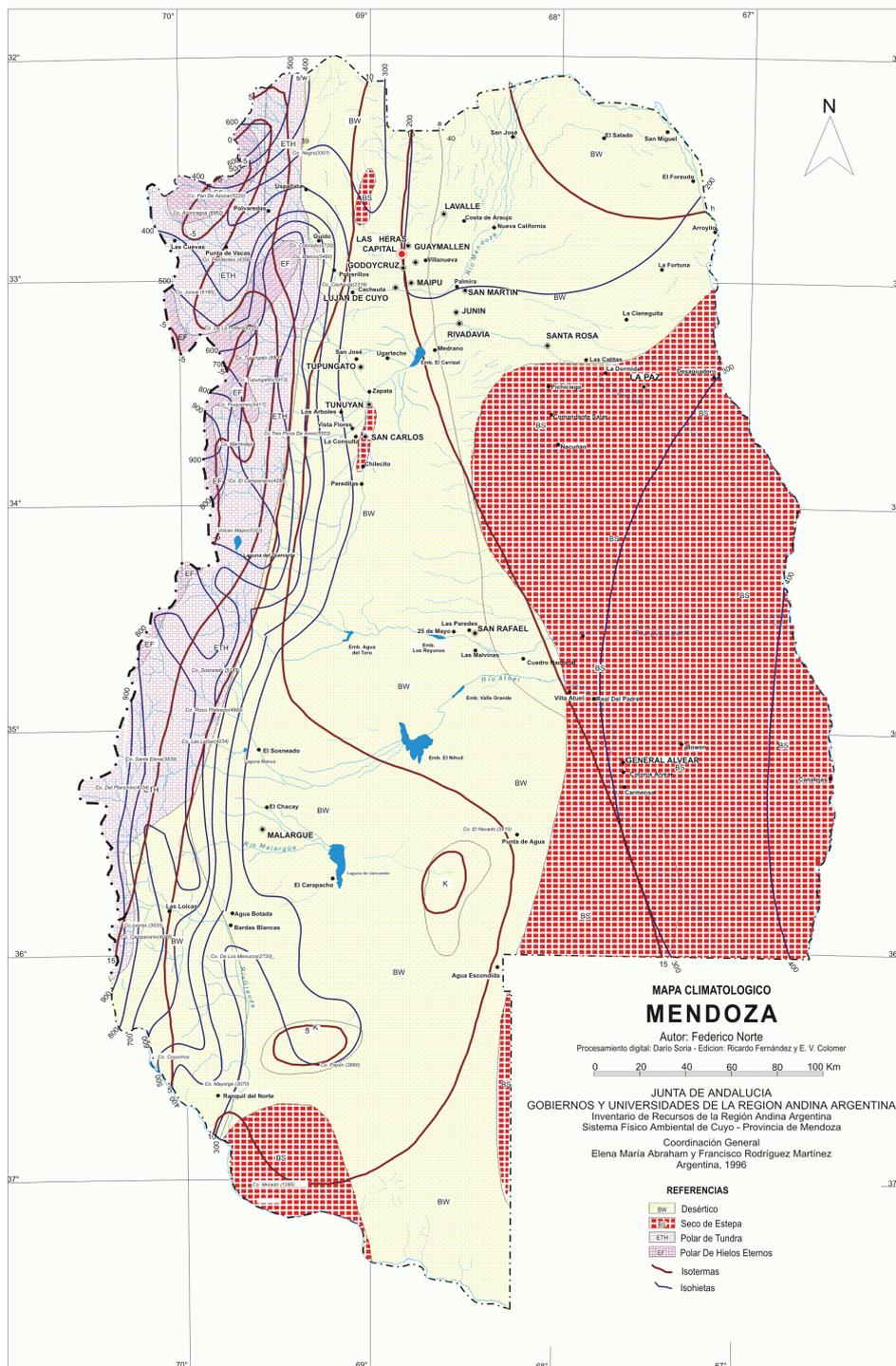


Figura 2: Cuencas y regiones hidrográficas de Argentina - Sistema Hidrológico del río Colorado.
 Fuente: Departamento General de Irrigación (2016)



Figura 3: Cuenca hidrográfica del río Tunuyán. Fuente: Departamento General de Irrigación (2016)

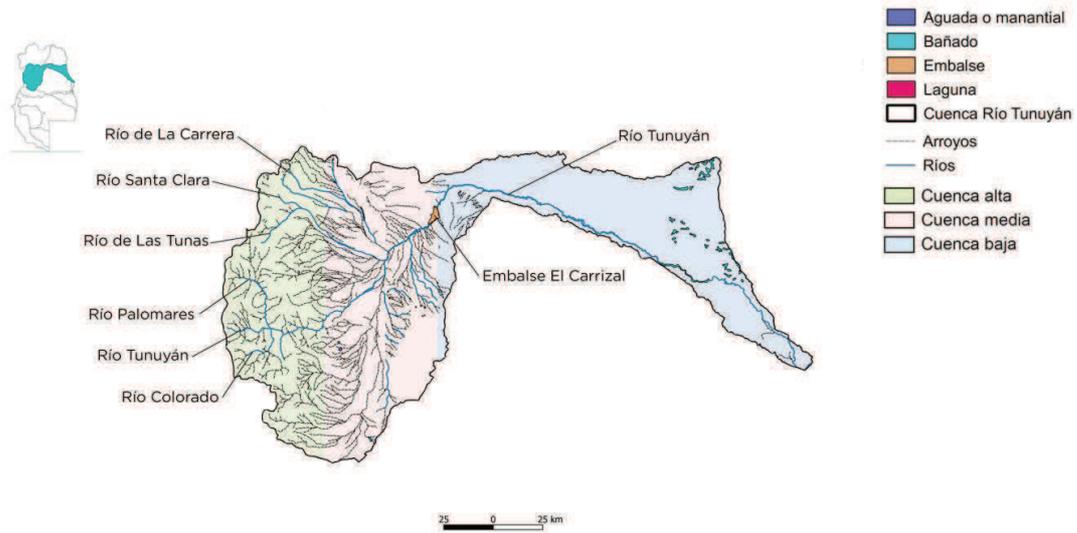


Figura 4: Regiones hidrogeológicas de Mendoza. Fuente: Dirección General de Irrigación (2016)

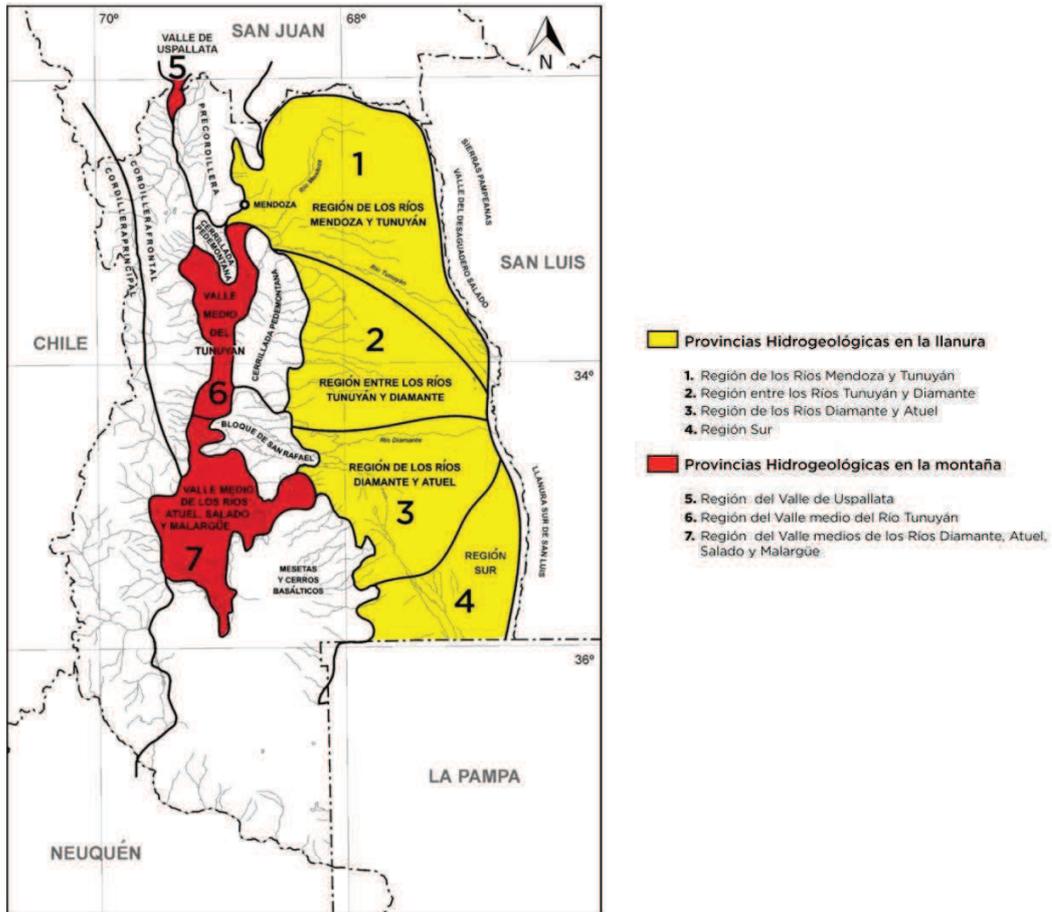
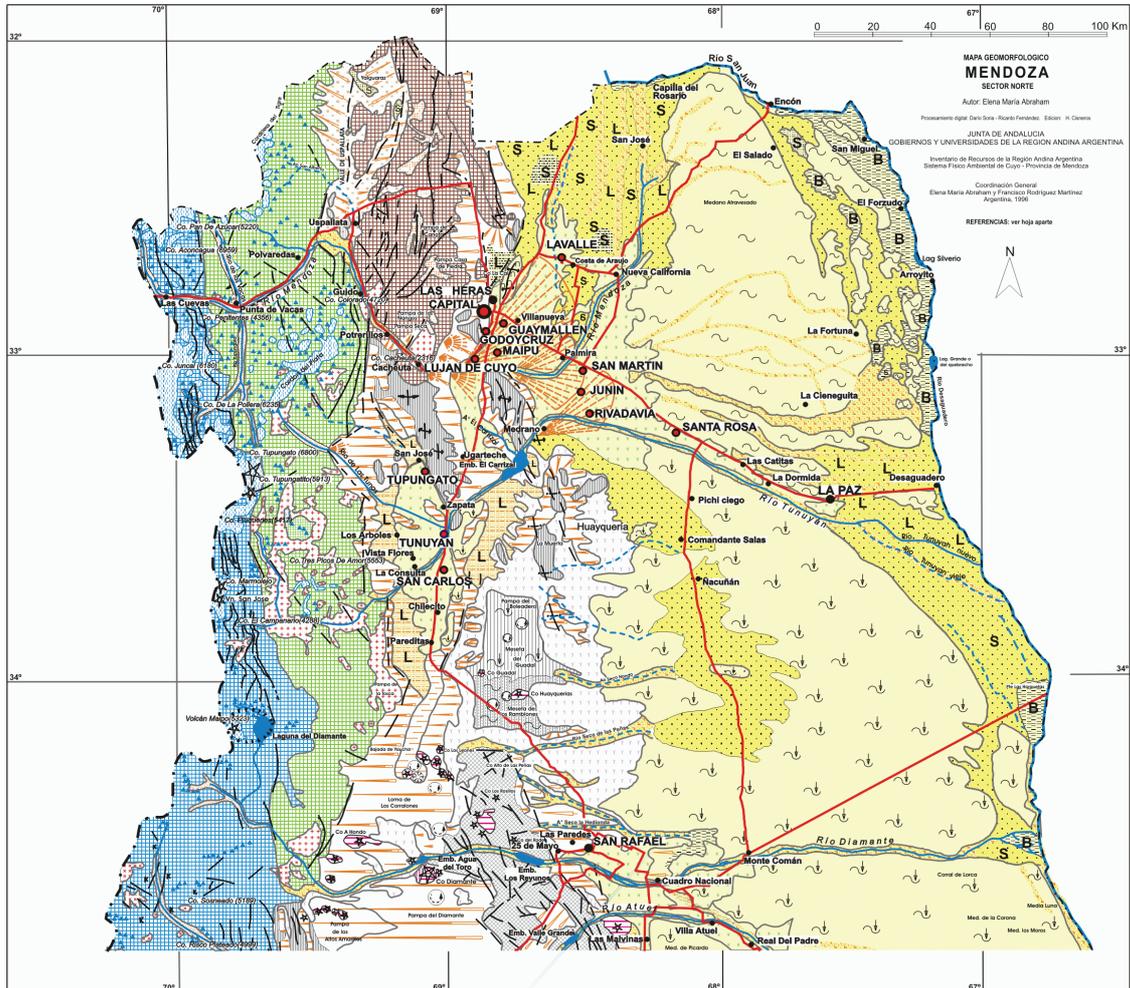


Figura 4: Mapa geomorfológico de la Provincia de Mendoza, Sector Norte. Fuente: Inventario de Recursos de la Región Andina, Elena Abraham (1996).



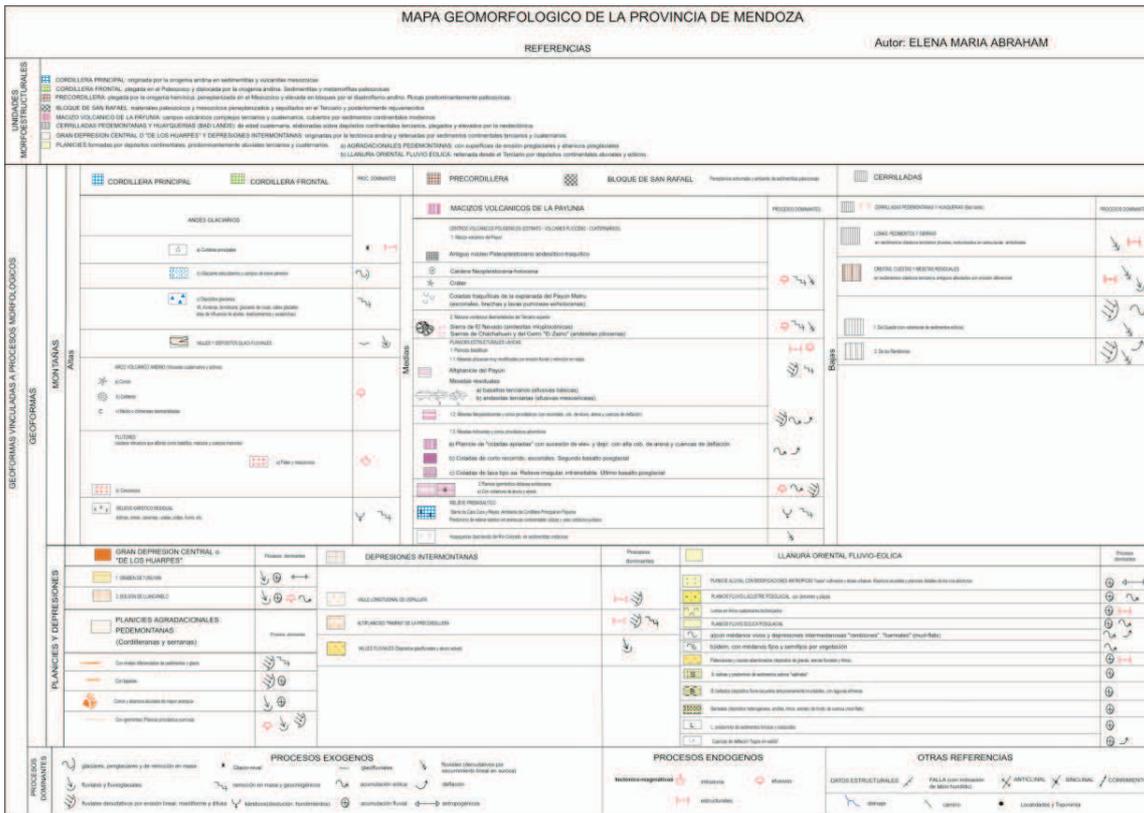


Figura 6: Mapa morfologico del Departamento de Rivadavia. Fuente: Departamento de Obras y Proyectos, Municipalidad de Rivadavia.

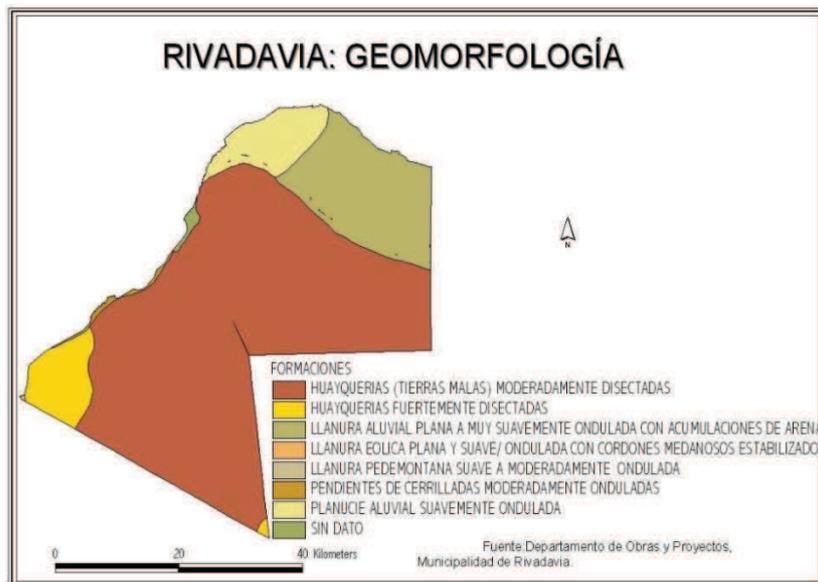


Figura 7: Zonificación Sísmica, Provincia de Mendoza. Fuente: INPRES

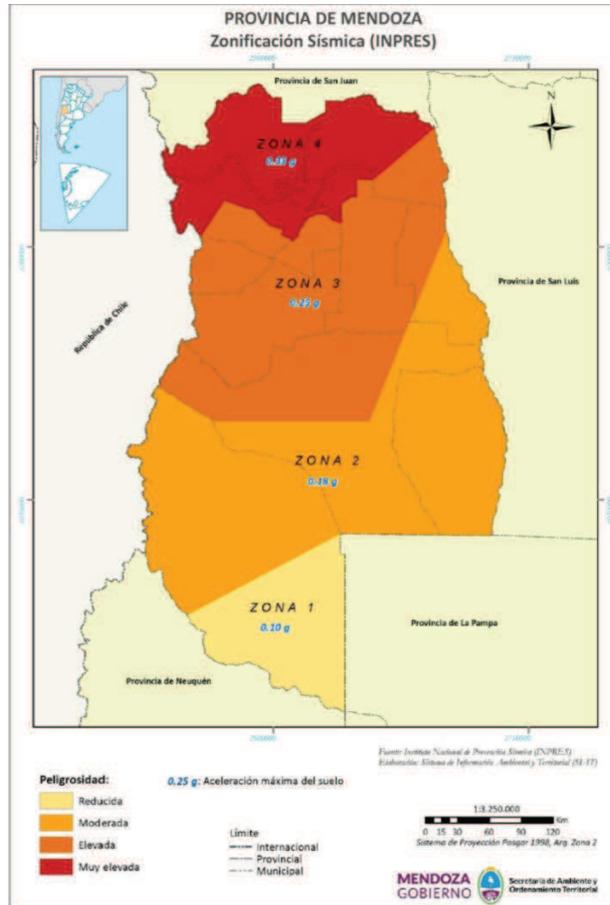


Figura 8: Conductividad eléctrica en el primer nivel de explotación ($\mu\text{mho/cm}$). Fuente: Regiones Hidrogeológicas, Dr. Auge (2004)

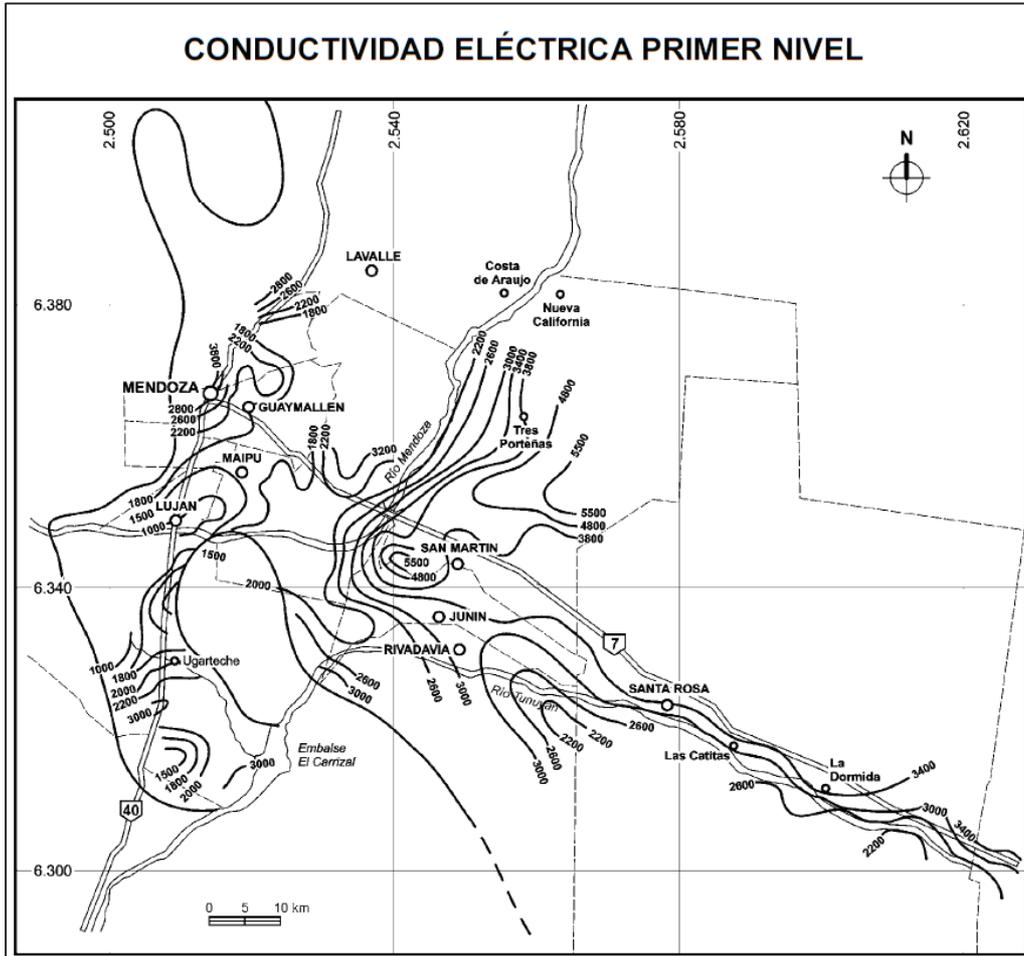


Figura 9: Conductividad eléctrica en el segundo nivel de explotación ($\mu\text{mho/cm}$). Fuente: Regiones Hidrogeológicas, Dr. Auge (2004)

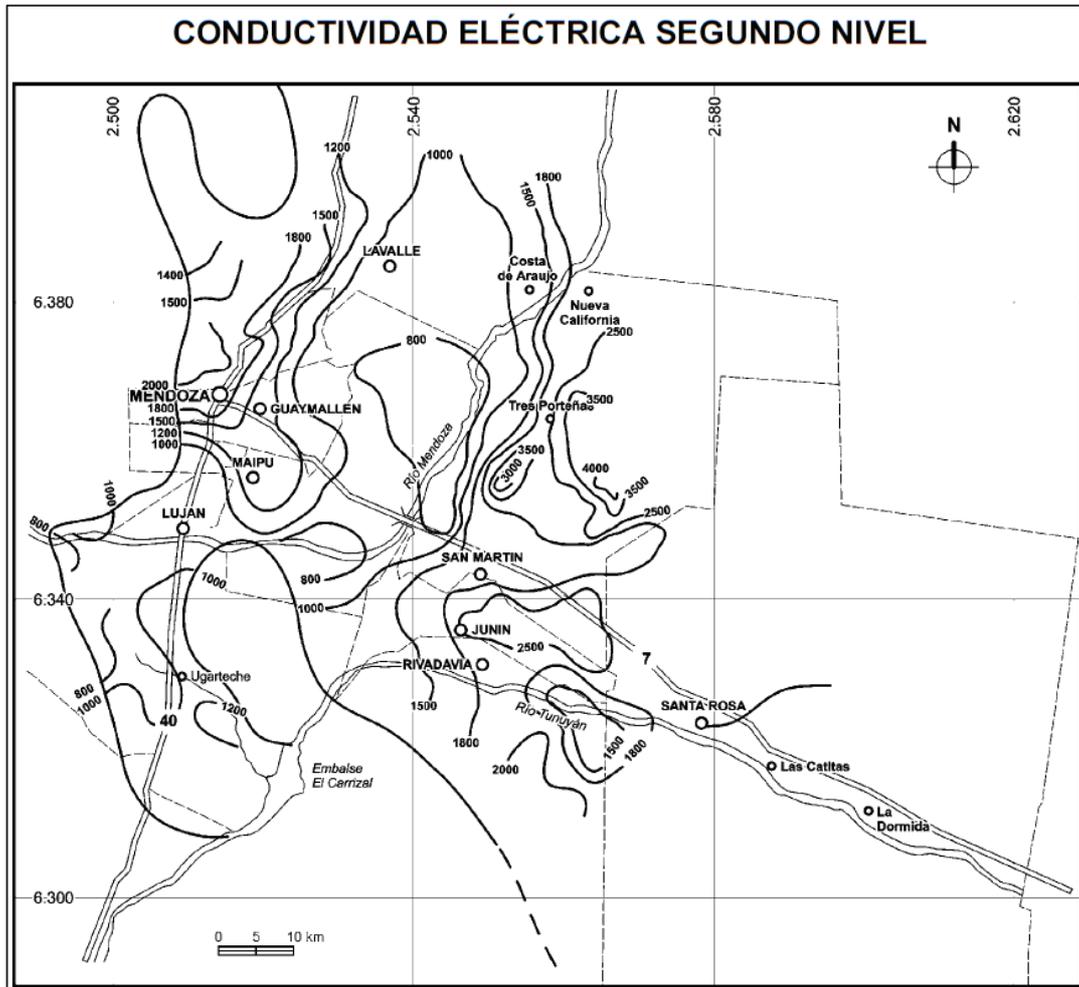


Figura 10: Conductividad eléctrica en el primer nivel de explotación ($\mu\text{mho/cm}$). Fuente: Regiones Hidrogeológicas, Dr. Auge (2004)

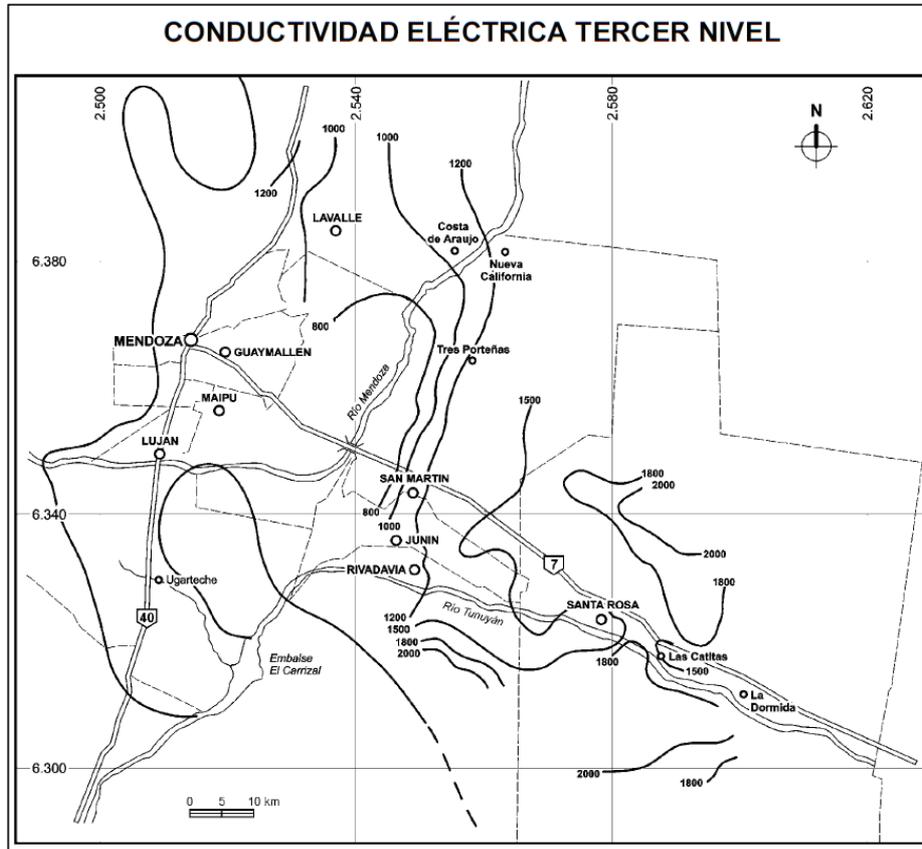


Tabla 1: Parámetros a controlar en irrigación de cultivos dentro de la categoría B, Resolución 400/03 del HTA - Reglamento General de A.C.R.E.

	Parámetros	Unidad	Límite máximo – Categoría B
A	Parámetros fisicoquímicos		
	Conductividad (4)	$\mu\text{S/cm}$	2500
	pH	Un.	6,5-8,5
	R.A.S	Nº	6
	Sólidos solubles en éter	mg/l	50
	Sólidos sedimentables en 10 min	mg/l	0,5
	Sólidos suspendidos totales	mg/l	100
B	Sustancias tóxicas inorgánicas		
B1	Aniones		
	Sulfatos	mg/l	700
	Cloruros	mg/l	600
	Sulfuros	mg/l	1
	Cianuros	mg/l	0,1

B2	Cationes		
	Manganeso	mg/l	0,2
	Berilio	mg/l	0,1
	Hierro total	mg/l	5
	Aluminio	mg/l	5
	Arsénico	mg/l	0,1
	Cadmio	mg/l	0,01
	Cobre	mg/l	0,2
	Cromo total	mg/l	0,1
	Zinc	mg/l	3
	Níquel	mg/l	0,2
	Mercurio	mg/l	0,005
	Plomo	mg/l	0,53
	Selenio	mg/l	0,02
	Cobalto	mg/l	0,05
	Sodio	mg/l	500
	Boro	mg/l	1
	Detergentes	mg/l	3
	Hidrocarburos	mg/l	10
	Fenoles	mg/l	0,05
C	Parámetros microbiológicos y		
	Escherichia coli (2)	NMP/100 ml	3 UnLog
	Helminfos	Huevos/1000ml	1
	DQO (filtrada) (1)	mg/l	70
	DBO (filtrada) (1)	mg/l	30
D	Nutrientes (3)		
	Potasio	mg/l	*
	Nitratos	mg/l	*
	Nitritos	mg/l	*
	Nitrógeno amoniacal	mg/l	*
	Nitrógeno total	mg/l	*
	Fosfatos	mg/l	*
	Fósforo total	mg/l	*

(1) Determinación a realizar con descuento de masa algosa (2) 3 Un.Log= 3162 NMP/100 ml (3) Límites a determinar según la afectación al acuífero, estableciéndose valores para cada caso particular (4) Aniones y Cationes cuando la C.E. supere el límite establecido.

Anexo 3

Ecuación Perman-Monteith adaptada por FAO:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

- ET_o evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- R_n radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- R_s radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
- G flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u₂ velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- e_s presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Imagen 2: Modulo Cultivo para olivo. Fuente: (Rousseaux, Searles, & Benedetti , 2008), (FAO, 2018)

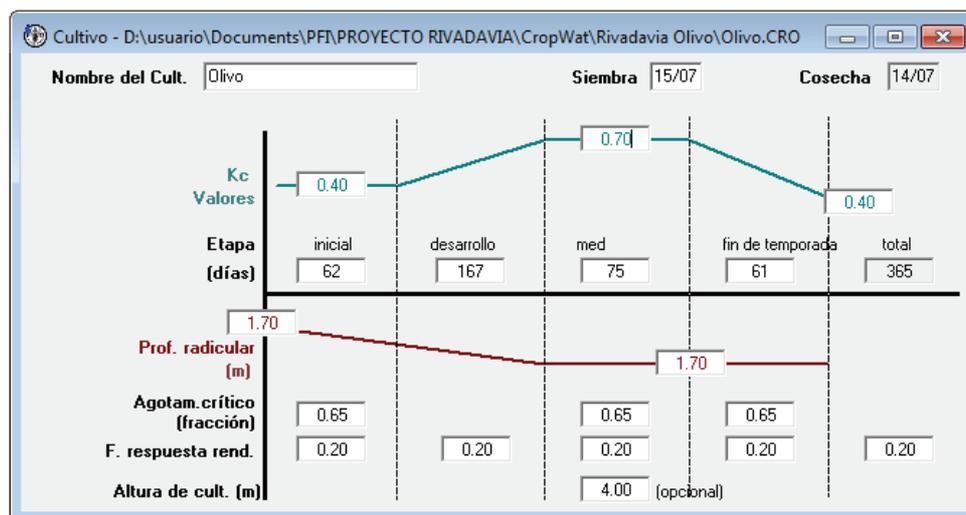


Imagen 3: Modulo Cultivo para álamo. Fuente: (Morábito , Martin, Sponton, Mariani, & Hernández, 2017)

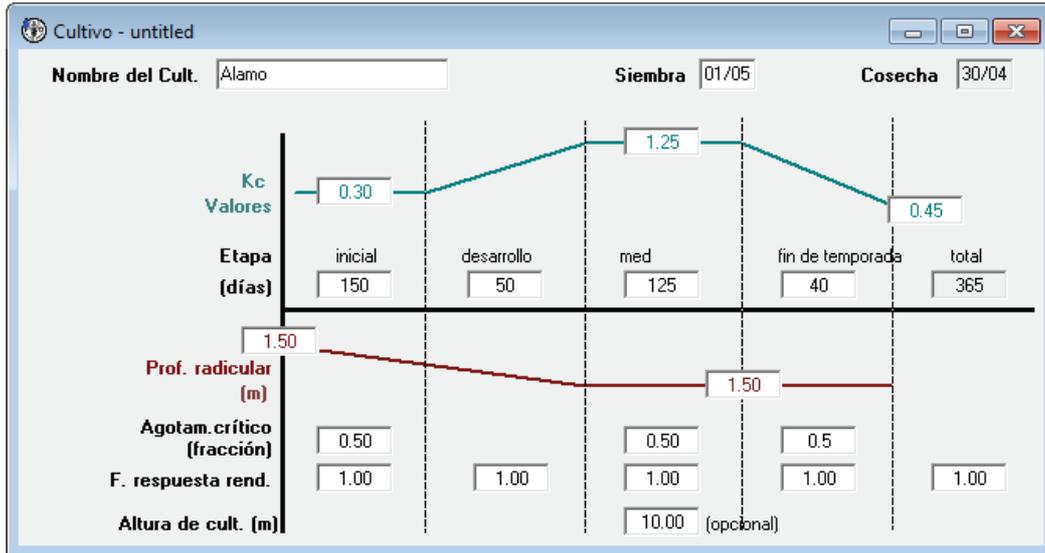


Imagen 4: Modulo Precipitaciones para los valores de P_{80} .

Precipitación mensual - D:\usuario\Documents\PFI\PROYECTO RIVADAVIA\CropWa... Estación Rivadavia Método Prec. Ef Método USDA S.C.

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	24.7	23.7
Febrero	20.0	19.4
Marzo	23.7	22.8
Abril	7.8	7.7
Mayo	5.2	5.2
Junio	2.1	2.1
Julio	3.9	3.9
Agosto	3.7	3.7
Septiembre	7.1	7.0
Octubre	7.2	7.1
Noviembre	11.5	11.3
Diciembre	15.6	15.2
Total	132.5	129.0

Anexo 4

Modelos para la estimación de eficiencia de remoción de materia orgánica disuelta en lagunas de estabilización:

- Yañez:

$$CSA = 357 * (1,085)^{T-20} \quad \text{dónde} \quad T = 8,59 + 0,82 * T_{\text{invierno}}$$

$$CRS_{\text{alta carga}} = 7,67 + 0,8063 * CSA \quad CRS_{\text{baja carga}} = -0,8 + 0,765 * CSA$$

Siendo alta carga (lagunas primarias) 200-1158dkg/ha.d y baja carga (lagunas secundarias) 40-210 kg/ha.d

- Cubillos:

$$CSA = 714,3 * H * (1,085)^{(T-35)} \quad \text{dónde} \quad T = \frac{T_{\text{invierno}} + T_{\text{efluente}}}{2}$$

$$CRS_{\text{alta carga}} = 25,133 + CSA * 0,675 \quad CRS_{\text{baja carga}} = -3,8179 + 0,8116 * CSA$$

Siendo alta carga (laguna primaria) 79-594 kh/ha.d y baja carga (laguna secundaria) 29-244 kg/ha.d.

- Modelo McGarry y Pescod:

$$CSA = 60,3 * (1,0993)^{T_{\text{inv}}} \quad CRS = 10,35 + 0,725 * CSA$$

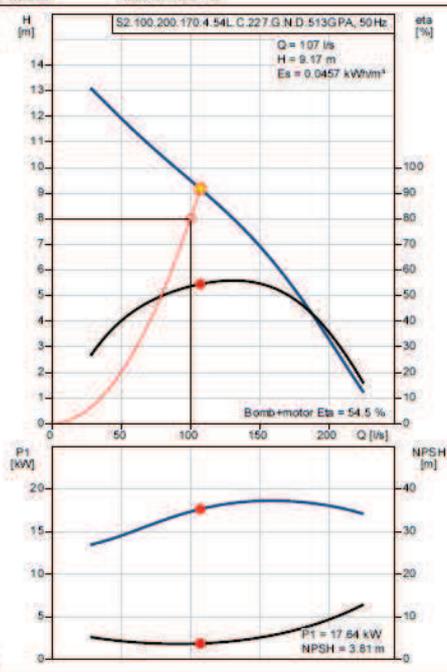
Imagen 1: Ficha técnica GRUNDFOS S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA

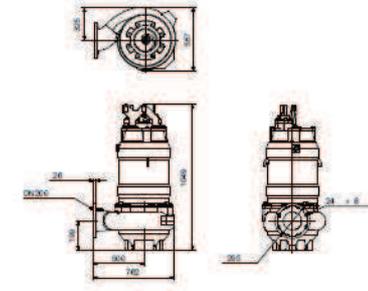


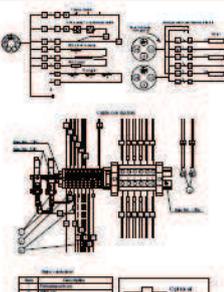
Empresa: **Municipalidad de General San Martín**
 Creado Por:
 Teléfono:

Datos: **28/04/2019**

Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA
Código:	96810375
Número EAN:	5700310980645
	5700310980645
Técnico:	
Caudal real calculado:	107 l/s
Caudal máx.:	225 l/s
Altura resultante de la bomba:	9.17 m
Altura máx.:	13 m
Diámetro real del impulsor:	227 mm
Tipo de impulsor:	2-CANAL
Diámetro máximo de las partículas:	100 mm
Cierre primario:	SIC-SIC
Cierre secundario:	SIC-CARBON
Homologaciones en placa de características:	CE, EAC
Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B
Camisa de refrigeración:	Y
Materiales:	
Carcasa de la bomba:	Hierro fundido EN 1561 EN-GJL-250 AISI A48 30
Impulsor:	Hierro fundido dúctil EN 1563 EN-GJS-500-7 AISI 80-55-06
Motor:	Hierro fundido EN 1561 EN-GJL-250 AISI A48 30
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientales:	-20 .. 40 °C
Tipo de conexión:	DIN
Tamaño de la conexión de salida:	DN 200
Profundidad máxima de instalación:	20 m
Instalación:	C
Inst. en seco/húmeda:	D/S
Instalación:	vertical
Autoacoplamiento:	96641489
Inst. vertical:	96094523
Pedestal:	96789480
Alcance de la estructura:	54
Líquido:	
Líquido bombeado:	Cualquier líquido viscoso
Rango de temperatura del líquido:	0 .. 40 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Datos eléctricos:	
Potencia de entrada - P1:	21 kW
Potencia nominal - P2:	18 kW
Frecuencia de red:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 415 V
Toler. tensión:	+10/-10 %
Arranques máx. por hora:	20
Intensidad nominal:	36/ A







	
Empresa: Municipalidad de General San Martin Creado Por: Teléfono:	
Datos: 28/04/2019	
Descripción	Valor
Consumo de intensidad máximo:	36 A
Intensidad de arranque:	161 A
Intensidad nominal sin carga:	19.7 A
Velocidad nominal:	1451 rpm
Eficiencia del motor a carga total:	85 %
Eficiencia del motor a una carga de 3/4:	86 %
Eficiencia del motor a una carga de 1/2:	84 %
Número de polos:	4
Tipo de arranque:	Estrella/triángulo
Grado de protección (IEC 34-5):	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Resistente a explosiones:	no
Protección estándar Ex:	N
Protec de motor:	Term
Longitud de cable:	15 m
Tipo de cable:	H07RN-F AT
Tamaño del cable:	2X4X6MM2+1X7X1,5MM2
Resistencia de cable:	3.30 mOhm/m
Winding resistance:	0.635 Ohm
Cos phi 1/1:	0.82
Cos phi 1/2:	0.61
Cos phi 3/4:	0.75
Paneles control:	
Sensor de humedad:	con sensores de humedad
Detector de agua en aceite:	sin detector de agua en aceite
Otros:	
Peso neto:	390 kg
Peso bruto:	480 kg
Región de ventas:	GPA

Tabla 1: Velocidad teórica de sedimentación de quistes y huevos de Helmintos

Especie	Características de los quistes y huevos			Velocidad de sedimentación (m/hora)
	Tamaño (m?)	Densidad (g/cm ³)	Forma	
Protozoos <i>Entamoeba histolytica</i>	150 x 50	1,055	Cilíndrica	12.55
Helmintos				
<i>Ascaris lumbricoides</i>	55 x 40	1,11	Esférica	0.65
<i>Uncinarias</i>	60 x 40	1,055	Esférica	0.30
<i>Schistosoma sp.</i>	150 x 50	1,18	Cilíndrica	12.55
<i>Taenia saginata</i>	30	1,1	Esférica	0.26
<i>Trichuris trichiura</i>	50 x 22	1,5	Cilíndrica	1.53

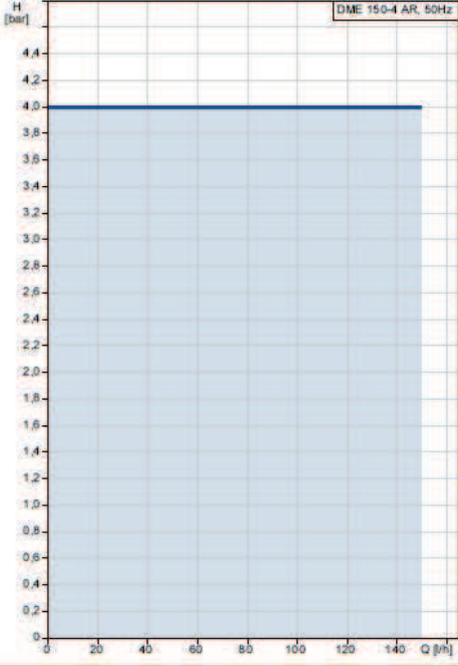
Imagen 1: Ficha técnica GRUNDFOS DME 150-4 AR

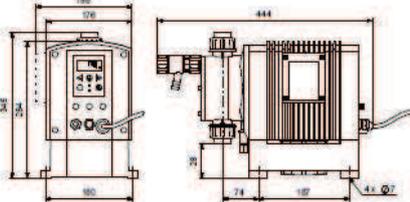


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 08/07/2019

Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	DME 150-4 AR
Código:	96524931
Número EAN:	5700396944357
Técnico:	
Máx. freq. de carrera:	160 1/min
Capacidad máx.:	150 l/h
Homologaciones en placa de características:	CE,EAC
Anticavitación:	función integrada
Válvula de purgado:	no
Válvula:	Standard
Materiales:	
Carcasa de la bomba:	Acero inoxidable 1.4401
Bola de válvula:	Acero inoxidable 1.4401
Junta de estanqueidad:	FKM
Instalación:	
Presión de trabajo máxima:	4 bar
Entrada de bomba:	THREADED RP 3/4"
Salida de bomba:	THREADED RP 3/4"
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Temperatura del líquido durante el funcionamiento:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m ³
Datos eléctricos:	
Potencia de entrada - P1:	67.1 W
Frecuencia de red:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 100-240 V
Intensidad nominal:	1.25-0.67 A
Tipo de clavija de cable:	SCHUKO
Paneles control:	
Variante de control:	AR
Panel de control:	Parte frontal
Control de nivel:	conexión para sensor de doble nivel o arranque/parada externo
Control por pulsos:	conex. para control por pulsación
Bloque (pulso):	dosificación por pulsación integrada
Control 4-20 mA:	conexión para control analógico 4-20 mA
Límite de capacidad:	Función limitación capacidad máx.integrada
Bloque (temporizador):	función dosificación por temporizador
Otras entradas/salidas:	Relé alarma
Otros:	
Peso neto:	15 kg





See Installation and Operating Instructions

Siehe Montage- und Betriebsanleitung

Voir Notice d'installation et d'entretien

Se monterings- og driftsinstruktion

Tabla 2: Presupuesto para la inversión inicial

Nº	Ítem Descripción	Unidad	Cantidad	Precio USD	
				Unitario	Parcial
1 Sistema Bypass					
	Movimiento de tierras	m3	63,00	8,00	504,00
	Cámara equipartidora de entrada H30 e=0,2m	m3	9,60	170,21	1634,04
	Excavación de zanjas para instalación de cañerías	m3	1760,00	8,00	14080,00
	Bocas de registro	un.	5,87	617,02	3619,86
	Cañería PVC cloacal DN 630 mm	m	880,00	152,48	134184,40
2 Sistema de rejillas					
	Movimiento de tierras	m3	202,37	8,00	1618,96
	Canal de H30 e=0,2m	m3	14,02	170,21	2386,25
	Rejas automáticas autolimpiantes	un.	2,00	5744,68	11489,36
	Canasto de retención de sólidos de acero inoxidable	un.	2,00	718,09	1436,17
	Compuertas de acero inoxidable	un.	3,00	122,87	368,62
	Cañería PVC cloacal DN 630 mm	m	6,20	152,48	945,39
3 Estación de bombeo					
	Movimiento de tierras	m3	253,50	8,00	2028,00
	Nueva cámara bypass de H30 e=0,2m	m3	21,60	170,21	3676,60
	Reparación cámara existente H30 e=0,2m	m3	21,60	170,21	3676,60
	Escalera y pasarela metálica	un.	1,00	319,15	319,15
	Tapas de acceso de hierro fundido	m2	20,25	212,77	4308,51
	Puertas de acero inoxidable antideslizantes	un.	2,00	538,56	1077,13
	Electrobombas Grundfos S2.100.200.170.4.54L.C.227.G.N.D.513GPA	un.	3,00	21294,00	63882,00
	Accesorios electrobombas	un.	3,00	15000,00	45000,00
	Cañería de impulsión de acero DN 200 mm con accesorios	m	18,00	2799,02	50382,38
	Cañería de impulsión de acero DN 400mm con accesorios	m	10,00	5598,04	55980,43
	Valvula de Retención a Bola	un.	3,00	1063,83	3191,49
	Valvula Esclusa	un.	6,00	1702,13	10212,77
	Excavación de zanjas para instalación de cañerías	m3	100,00	8,00	800,00
	Cañería de PVC K10 DN 400 de salida	m	50,00	56,74	2836,88
4 Desarenador-desengrasador					
	Movimiento de tierras	m3	862,40	8,00	6899,20
	Canales de H30 e=0,2m	m3	152,72	170,21	25994,13
	Compuertas de acero inoxidable	un.	2,00	102,13	204,26
	Puente barredor	un.	2,00	6495,00	12990,00
	Difusores burbuja gruesa Repicky CB-300	un.	84,00	9,40	789,96
	Cañería conducción de aire de acero inoxidable	m	72,00	31,91	2297,87
	Sala de sopladores	un.	1,00	4000,00	4000,00
	Sopladores Repicky R1000	un.	2,00	20134,51	40269,02
	Bomba extractora de lodos monotornillo ACYS Nuova Rubbermac PH35	un.	2,00	6011,38	12022,77
	Cañería PVC cloacal DN 630 mm de salida	m	10,00	152,48	1524,82
5 Sedimentador primario					
	Cámaras equipartidoras de entrada H21 e=0,2m	m3	3,20	127,66	408,51
	Movimiento de tierras	m3	2745,79	8,00	21966,34
	Estructura exterior H30 e=0,2m	m3	144,00	170,21	24510,64
	Pilar central H30 e=0,15	m3	9,74	170,21	1657,02
	Campana deflectora acero	un.	3,00	176,86	530,59
	Puente barredor	un.	3,00	11366,26	34098,77
	Estructura vertedero salida (metal)	m2	12,00	26,60	319,18
	Bomba extractora de lodos monotornillo ACYS Nuova Rubbermac PH50	un.	3,00	6011,38	18034,15
	Cámaras equipartidoras de salida H21 e=0,2m	m3	3,20	127,66	408,51
	Excavación de zanjas para instalación de cañerías	m3	256,50	8,00	2052,00
	Cañería PVC cloacal DN 315 mm	m	102,00	31,91	3255,32
	Cañería PVC cloacal DN 630 mm de salida	m	12,00	152,48	1829,79
6 Nueva serie de lagunas de estabilización					
	Cámara equipartidora de entrada H21 e=0,2m	m3	6,00	127,66	765,96
	Cañería de distribución hacia lagunas PVC cloacal DN 500 mm	m	307,00	88,65	27216,31
	Movimiento de tierras	m3	50105,76	8,00	400846,07
	Hormigón H21 para recubrimiento parcial de taludes internos e=0,15	m3	590,59	127,66	75394,72
	Construcción terraplenes con suelo seleccionado	m3	13396,50	3,83	51305,74
	Grava para base de los terraplenes	m3	762,00	45,00	34290,00
	Ripio para coronamiento e=0,2	m3	762,00	14,04	10700,43
	Impermeabilización con membrana PEAD e=1 mm	m2	31891,00	4,32	137741,98
	Cañerías de conexión PVC cloacal DN 250 mm	m	288,00	121,28	34927,66
	Te de salida de PVC DN 250 mm	un.	8,00	19,15	153,19
	Cañería de salida PVC cloacal DN 630 mm	m	380,00	152,48	57943,26
	Cámara colectora de caudal H21 e=0,2m	m2	3,20	127,66	408,51

7 Cámara de cloración					
Movimiento de tierras	m3	552,96	8,00	4423,68	
Cámara de contacto en H30 e=0,2 m	m3	30,64	170,21	5215,32	
Compuertas de Acero Inoxidable	un.	2,00	122,87	245,74	
Casilla de cloración	un.	1,00	4431,49	4431,49	
Tanques de PEAD 5000L	un.	2,00	638,30	1276,60	
Bomba dosificadora DME 150-4 Ar	un.	2,00	4776,00	9552,00	
Cañería conducción solución de Cl PEAD PN10 DN 50mm	m	40,00	2,13	85,11	
Excavación de zanjas para instalación de cañerías de salida	m3	50,00	8,00	400,00	
Cañería PVC cloacal de salida DN 630 mm	m	50,00	152,48	7624,11	
8 Refuncionalización lagunas de estabilización					
Alquiler de cinco tanques atmosféricos para la remoción de lodos acumulados	d	104,39	6914,89	721824,97	
Hormigón H21 para recubrimiento parcial de taludes internos e=0,15	m3	1771,78	127,66	226184,17	
Construcción terraplenes con suelo seleccionado	m3	40189,50	3,83	153917,23	
Ripio para coronamiento e=0,2	m3	2286,00	14,04	32101,28	
Impermeabilización con membrana PEAD e=1 mm	m2	95673,00	4,32	413225,94	
Te de salida de PVC DN 250 mm	un.	24,00	19,15	459,57	
Cañerías de conexión PVC cloacal DN 250 mm	m	864,00	121,28	104782,98	
9 Tratamiento de lodos					
Tanque de estabilización de H21, e=0,2m	m3	11,86	127,66	1514,09	
Agitador mecánico	un.	1,00	200,00	200,00	
Playas de secado de hormigón, e=0,20m	m3	304,00	5,00	1520,00	
Cañerías de transporte de lodos PVC K10 160 mm	m	160,00	17,73	2836,88	
Cañerías de drenaje y retorno del percolado PVC 250 mm	m	130,00	19,15	2489,36	
10 Otros					
Movilización, obrador y desmovilización	un.	1,00	1625,94	1625,94	
Limpieza y nivelación del terreno	m2	262926,00	0,60	157755,60	
Árbolado perimetral	un.	405,00	7,45	3015,96	
Transporte interno de materiales	m3	379735,22	0,85	323178,91	
Cámaras de muestreo y medición de cudes de de H21, e=0,20 m	m3	19,20	127,66	2451,06	
Sonda de medición de parametros en línea	un.	2,00	2040,00	4080,00	
Caudalímetro ultrasonico ALIASONIC, modelo AUF790	un.	2,00	3476,00	6952,00	
PC con accesorios	un.	1,00	319,15	319,15	
Baños químicos	mes	12,00	172,34	2068,09	
11 Servicios profesionales					
Jefe de obra	un.	1,00	11691,00	11691,00	
Ing. Ambiental	un.	1,00	11366,26	11366,26	
Capataz	un.	1,00	9742,51	9742,51	
Seguridad e higiene	un.	1,00	8118,74	8118,74	
Topógrafo	un.	1,00	974,23	974,23	
TOTAL				3.705.045,60	

Tabla 3: Presupuesto para la operación del ED de Rivadavia

Nº	Ítem Descripción	Unidad	Cantidad	Precio USD	
				Unitario	Parcial
1 Consumo energético					
	Cargo Comercialización	mes	1,00	9,52	9,52
	Uso de Red	kW-mes	55,62	7,99	444,41
	Consumo de Potencia	kW-mes	55,62	2,47	137,53
	Total costos fijos				591,47
	Energía Pico	kWh	66742,20	0,05	3293,80
	Energía Resto	kWh	162739,73	0,05	7687,89
	Energía Valle	kWh	80090,64	0,05	3616,35
	Total costos variables				14598,04
	Total				15189,51
2 Insumos y servicios					
	Hipoclorito de sodio	L/mes	16848,00	0,60	10037,11
	Cal	kg/mes	40,14	0,20	8,20
	Disposición final de lodos deshidratados	tn/mes	0,54	158,17	85,37
	Total				10130,67
3 Mantenimiento					
	Porcentaje de inversión inicial	%/mes	0,83	37058,87	30882,39
	Total				30882,39
4 Mano de obra					
	Jefe de planta	un.	1,00	957,45	957,45
	Técnicos químicos	un.	2,00	744,68	1489,36
	Operarios	un.	6,00	744,68	4468,09
	Seguridad/vigilante	un.	2,00	638,30	1276,60
	Total				8191,49
	TOTAL				64.394,06

Imagen 1: Tarifario EPRE Resolución 146/19, Grandes Demandas

Tarifa 2 (T2) - GRANDES DEMANDAS (Potencias mayores a 10 kW)											
CONECTADO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN y BORNES DEL TRANSFORMADOR											
		T2 R BT		T2 B MT/BT		T2 R MT		T2 B AT/MT		T2 R AT	
		Pot. entre 10 kW y 300 kW	Pot. >= 300 kW	Pot. entre 10 kW y 300 kW	Pot. >= 300 kW	Pot. entre 10 kW y 300 kW	Pot. >= 300 kW	Pot. entre 10 kW y 300 kW	Pot. >= 300 kW	Pot. entre 10 kW y 300 kW	Pot. >= 300 kW
Cargo Comercialización	\$/mes	323,001	323,001	477,538	477,538	4755,003	4755,003	6418,719	6418,719	20948,435	20948,435
Uso de Red	\$/kW-mes	478,862	478,862	402,803	402,803	375,549	375,549	288,969	288,969	207,086	207,086
Consumo de Potencia	\$/kW-mes	121,040	121,040	118,484	118,484	116,221	116,221	113,252	113,252	111,541	111,541
Energía Pico (P) - 18 a 23hs	\$/kWh	2,4807	3,5268	2,3465	3,3360	2,3195	3,2977	2,2602	3,2134	2,2285	3,1683
Energía Resto (R) - 05 a 18hs	\$/kWh	2,3746	3,3774	2,2461	3,1946	2,2203	3,1579	2,1636	3,0772	2,1332	3,0341
Energía Valle (V) - 23 a 05hs	\$/kWh	2,2697	3,2268	2,1469	3,0522	2,1222	3,0171	2,0679	2,9400	2,0389	2,8988

Anexo 5

Tabla 1: Criterios utilizados para la valoración de impacto ambientales

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO	CALIFICACION
CARACTER (Ca)	<i>Define las acciones o actividades de un proyecto, como perjudicial o negativa, positiva, neutra o previsible (difícilmente calificable sin estudios específicos)</i>	Negativo	-1
		Positivo	+1
		Neutro	0
INTENSIDAD (I)	<i>Expresa la importancia relativa de las consecuencias que incidirán en la alteración del factor considerado. Se define por interacción del Grado de Perturbación que imponen las actividades del proyecto y el Valor Ambiental asignado al recurso.</i>	Muy alta	1,0
		Alta	0,7
		Mediana	0,4
		Baja	0,1
EXTENSION (E)	<i>Define la magnitud del área afectada por el impacto, entendiéndose como la superficie relativa donde afecta el mismo.</i>	Regional	0,8-1,0
		Local	0,4-0,7
		Puntual	0,1-0,3
DURACION (Du)	<i>Se refiere a la valoración temporal que permite estimar el periodo durante el cual las repercusiones del impacto serán detectadas en el factor afectado</i>	Permanente (10>años)	0,8-1,0
		Larga (5 a 10 años)	0,5-0,7
		Media (3 a 4 años)	0,3-0,4
		Corta (hasta 2 años)	0,1-0,2
DESARROLLO (De)	<i>Califica el tiempo que el impacto tarda en desarrollarse completamente, o sea la forma en que evoluciona el impacto, desde que se inicia y manifiesta hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias</i>	Muy rápido (<1 mes)	0,9-1,0
		Rápido (1- 6 meses)	0,7-0,8
		Medio (6-12meses)	0,5-0,6
		Lento (12-24 meses)	0,3-0,4
		Muy lento(>24 meses)	0,1-0,2
REVERSIBILIDAD (Re)	<i>Evalúa la capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto</i>	Irreversible	0,8-1,0
		Parcial. Reversible	0,4-0,7
		Reversible	0,1-0,3
RIESGO DE OCURRENCIA (Ro)	<i>Califica la probabilidad de que el impacto ocurra debido a la ejecución de las actividades del proyecto</i>	Cierto	9-10
		Muy probable	7-8
		Probable	4-6
		Poco probable	1-3
CALIFICACION AMBIENTAL (CA)	<i>Es la expresión numérica de la interacción de los parámetros o criterios. El valor de CA se corresponde con un valor global de la importancia del impacto. Se aplica según fórmula expuesta (Ver Fórmula de CA)</i>	Imp. Bajo	0-3
		Imp. Medio	4-7
		Imp. Alto	8-10